

10/532592

Attorney's Docket No. 032553-049

JC12 Rec'd PCT/PTC 25 APR 2005

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of)
Jörg FÜLLEMANN) Group Art Unit:
Application No.:) Examiner:
Filed: April 25, 2005) Confirmation No.:
For: COMBUSTION METHOD AND)
BURNER HEAD, BURNER HAVING)
SUCH A BURNER HEAD, AND BOILER))
HAVING SUCH A BURNER HEAD)
)

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

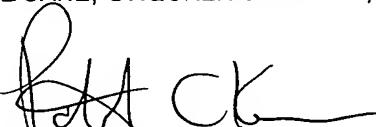
The benefit of the filing date of the following priority foreign application in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

Country: Switzerland
Patent Application No.: 2002-1777/02
Filed: 10/23/2002

In support of this claim, enclosed is a certified copy of said foreign application. Said prior foreign application is referred to in the oath or declaration and/or the Application Data Sheet. Acknowledgement of receipt of this certified copy is requested.

Respectfully submitted,

BURNS, DOANE, SWECKER & MATHIS, L.L.P.

Date: April 25, 2005
By: 
Patrick C. Keane
Registration No. 32,858

P.O. Box 1404
Alexandria, Virginia 22313-1404
(703) 836-6620





**SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT
CONFÉDÉRATION SUISSE
CONFEDERAZIONE SVIZZERA**

Bescheinigung

Die beiliegenden Akten stimmen mit den ursprünglichen technischen Unterlagen des auf der nächsten Seite bezeichneten Patentgesuches für die Schweiz und Liechtenstein überein. Die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein bilden ein einheitliches Schutzgebiet. Der Schutz kann deshalb nur für beide Länder gemeinsam beantragt werden.

Attestation

Les documents ci-joints sont conformes aux pièces techniques originales de la demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein spécifiée à la page suivante. La Suisse et la Principauté de Liechtenstein constituent un territoire unitaire de protection. La protection ne peut donc être revendiquée que pour l'ensemble des deux Etats.

Attestazione

I documenti allegati sono conformi agli atti tecnici originali della domanda di brevetto per la Svizzera e il Liechtenstein specificata nella pagina seguente. La Svizzera e il Principato di Liechtenstein formano un unico territorio di protezione. La protezione può dunque essere rivendicata solamente per l'insieme dei due Stati.

Bern, 23. OKT. 2003

Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum
Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle
Istituto Federale della Proprietà Intellettuale

Patentverfahren
Administration des brevets
Amministrazione dei brevetti


Heinz Jenni



Patentgesuch Nr. 2002 1777/02

HINTERLEGUNGSBESCHEINIGUNG (Art. 46 Abs. 5 PatV)

Das Eidgenössische Institut für Geistiges Eigentum bescheinigt den Eingang des unten näher bezeichneten schweizerischen Patentgesuches.

Titel:

Verbrennungsverfahren und Brennerkopf, sowie Brenner mit einem solchen Brennerkopf und Heizkessel mit einem solchen Brennerkopf.

Patentbewerber:

swiss e-technic ag
Postfach 16
7303 Mastrils

Vertreter:

Riederer Hasler & Partner Patentanwälte AG
Elestastrasse 8
7310 Bad Ragaz

Anmeldedatum: 23.10.2002

Voraussichtliche Klassen: F23C, F23D

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Verbrennungsverfahren und Brennerkopf, sowie Brenner mit einem solchen Brennerkopf und Heizkessel mit einem solchen Brennerkopf

5

Im klassischen Ölbrenner wird das Heizöl mit hohem Druck in die in den Feuerraum einströmende Zuluft eingespritzt. Die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Luft und Öltröpfchen begünstigt eine Verdampfung des Öls und führt damit zu einer Verkleinerung des Öltröpfchens, bis schliesslich die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen

10 Luft und Öltröpfchen verschwunden ist. Mit abnehmender Geschwindigkeit bildet die verdampfte Flüssigkeit um den Tropfen herum ein Gemisch aus Brennstoffdampf und Luft mit zunehmendem Brennstoffdampfanteil. Die Entflammbarkeit des Gemisches nimmt während des Verdampfungsprozesses zu. Durch die Wärme der im Brenner bereits bestehenden Flamme entzündet sich dieses zunehmend leichter entflammable

15 Gemisch.

Damit sich die Flammen nicht vom Brennerkopf löst, wird bei Gelbbrennern zentral oder ringförmig um einen zentralen Bereich herum mit einer Stauscheibe eine Unterdruckzone geschaffen. Dieser Unterdruckzone wird eine geringere Menge, in Rotation versetzte 20 Zuluft zugeführt. In diese Unterdruckzone wird auch der Brennstoff eingesprührt. Er brennt in diesem Flammenkern unter Sauerstoffmangel. Sekundärluft wird zentral und/oder durch einen Ringschlitz rund um diese Unterdruckzone in relativ grosser Menge zugeführt und erlaubt die Verbrennung des gesamten zugeführten Brennstoffes in einer langgestreckten Flamme. Dank der zentralen Unterdruckzone und der diese 25 umhüllenden Frischluftzufuhr wird der Flammenkern und damit die gesamte Flamme gegen die Stauscheibe gesogen. Dadurch hält die Flamme stromab der Stauscheibe und löst sich nicht von dieser.

Es wird jedoch bei dieser Verbrennung eine hohe Flammentemperatur erreicht. Diese 30 hohe Temperatur führt einerseits zu Verkockungen der Brennstoffdüse, was die Betriebssicherheit beeinträchtigt, und andererseits zu günstigen Bedingungen für die Verbindung von Luftstickstoff und Luftsauerstoff. Es entsteht bei einer solchen Verbrennung daher eine übermässige Konzentration von Stickoxiden (NOx). Bei dieser

Verbrennung leuchtet die Flamme gelb. Das gelbe Licht wird von glühendem Kohlenstoff ausgestrahlt, der infolge einer Zersetzung des Brennstoffs entsteht.

Man hat herausgefunden, dass die Konzentration der entstehenden Stickoxide sehr stark

5 abhängig ist von der Verbrennungstemperatur. Eine Senkung um je 100 °C setzt die NOx-Konzentration auf den halben Wert herab. Gelingt es also, die Verbrennungstemperatur um 300 °C zu senken, so ist die NOx-Konzentration gegenüber der gelben Flammenverbrennung noch etwa 1/8.

10 Eine Kühlung der Flamme wird durch einen Überschuss an Zuluft, eine gezielte Rezirkulation von Abgasen und/oder durch eine räumliche Trennung von Verdampfungszone und Mischungszone von der Verbrennungszone erreicht.

15 Um die NOx-Werte im Rauchgas bei der Verbrennung von Heizöl zu senken, wurden sogenannte Blaubrenner entwickelt. Bei den Blaubrennern ist die Verbrennungszone möglichst getrennt von der Verdampfungs- und Mischzone. Dabei wird der Brennstoff in der Zuluft oder in einem Gemisch aus Zuluft und Verbrennungsgas verdampft und danach verbrannt. Bei den Brennern, welche eine nahezu stöchiometrische Verbrennung ermöglichen, muss eine Rezirkulation der Abgase vorgesehen sein.

20 Aus der EP-A-0 321 809 (Brown Boveri AG) ist ein Verfahren und ein Brenner für die vormischartige Verbrennung von flüssigem Brennstoff in einem Brenner bekannt. Der Brenner weist zwei sich ergänzende Teilkegelkörper auf, die sich zu einem Hohlkegel ergänzen und zwischen denen tangentiale Lufteintrittschlitze vorliegen. Die hohen

25 Teilkegelkörper besitzen eine in Strömungsrichtung zunehmende Kegelneigung. Die Kegelachsen der Teilkegelkörper sind voneinander beabstandet und zwischen diesen Kegelachsen ist eine Brennstoffdüse vorhanden, die einen flüssigen Brennstoff in einem Winkel in den Hohlkegel einspritzt, der gewährleistet, dass der Brennstoff die Hohlkegelwandung nicht benetzt. Durch die tangentialen Lufteintrittschlitze wird Luft

30 zugeführt, die einen Mantel um den Brennstoffnebel bildet und um den Brennstoffkegel rotiert. Das Brennstoff-Luft-Gemisch erreicht im Bereich des Wirbelaufplatzens, beziehungsweise im Bereich einer zentralen Rückströmungszone im Mündungsbereich

des Hohlkegels, die optimale, homogene Brennstoffkonzentration über den Querschnitt des Wirbels. Die Zündung erfolgt an der Spitze der Rückströmungszone.

Die niedrigsten Schadstoffemissionswerte werden mit diesem Brenner erreicht, wenn die
5 Verdampfung vor dem Eintritt in die Verbrennungszone abgeschlossen ist. Dies gilt ebenso für eine Verbrennung mit einem Luftüberschuss von 60% wie auch bei Ersatz dieses Luftüberschusses durch rezirkuliertes Abgas. Wie die Abgase rezirkuliert werden, ist der Schrift nicht zu entnehmen. Bei der Gestaltung der Teilkegelkörper hinsichtlich
10 deren Kegelneigung und der Breite der tangentialen Lufteintrittschlitze sind enge Grenzen einzuhalten, damit sich das gewünschte Strömungsfeld der Luft mit ihrer Rückströmzone im Bereich der Brennermündung zur Flammenstabilisierung einstellt.

Gemäss der EP-A-0 491 079 (Asea Brown Boveri AG) ist ein Nachteil dieses Brenners, dass er in einigen Fällen von atmosphärischen Feuerungsanlagen nicht zum Einsatz gebracht
15 werden kann. Daher schlägt diese Schrift einen Brennerkopf vor, der minimale Schadstoff-Emissionen aufweist, und bei dem durch die Formgebung des Brennerkopfes sowie die Führung der Zuluft durch den Brenner sich am Ende einer Vormischzone im Zentrum und/oder an Aussenrand des Feuerraumes eine Stabilisation der Flamme einstellt. Offenbar war die Flammenstabilität des Brenners gemäss der EP-A-0 321 809
20 ungenügend.

Der Brennerkopf gemäss der EP-A-0 491 079 weist eine Brennstoffflanze mit einer Brennstoffdüse auf. Um diese herum ist ein Zuluftkanal angeordnet. Abströmseitig schliesst dieser mit einer Blende ab. Um diesen ersten Zuluftkanal ist ein weiterer Zuluftkanal angeordnet. Dieser zweite Zuluftkanal ist abströmseitig mit einer Anzahl von Leitorganen versehen. Abströmseitig der Brennstoffdüse ist ein Feuerraum vorhanden, der in Abströmrichtung aus einem Vormischrohr und einem daran anschliessenden und gegenüber diesem im Durchmesser erweiterten Ausbrandrohr besteht. Eine Flammenstabilisation kann bei Bedarf durch Einbringen eines Störkörpers stromab der
30 Vormischzone erreicht werden.

Im Betrieb dieses Brenners wird ein Teil der Zuluft über mindestens eine Blende in eine stromab einer Brennstoffdüse gelegene Vormischzone eingeströmt. Ein weiterer Teil der

Zuluft erhält vor Einströmung in die Vormischzone durch eine Anzahl von Leitorganen einen Drall und wird anschliessend mit einem rückgeführten Abgas vermischt. Stromab der Vormischzone bildet sich am Übergang von Vormischrohr zu Ausbrandrohr ein Wirbelring, der eine am Ende der Vormischzone sich bildende Wirbelrückströmzone umgibt. Die Initialzündung des Gemisches aus Zuluft und Brennstoff geschieht im 5 Wirbelring.

Von der Vermischung des Brennstoffes mit einem Gemisch aus Zuluft und Rezirkulationsgas abweichend beschreibt die EP-A-0 867 658 ein Verfahren zur 10 Verbrennung von flüssigem Brennstoff, bei dem der Brennstoff zuerst in rückgeführtem Abgas verdampft wird, und erst danach das Gemisch von Brennstoffgas und Abgas mit der mit einem Drall versehenen, in einem zentralen Strahl zugeführten Frischluft verwirbelt und entflammt wird. Der Drall wird dadurch erreicht, dass eine um die Brennstoffdüse herum angeordnete ringförmige Öffnung in der Stauscheibe mit Drall 15 erzeugenden Leitflächen versehen ist. Mit der Luftführung wird ein Unterdruck erreicht, dank dem Rezirkulationsgase in das Flammrohr angesaugt werden. Diese Verbrennung zeichnet sich durch vorher nicht erreichte, tiefste Schadstoffemissionswerte aus. Zur Bildung einer Vergasungszone mit sauerstoffarmem Heissgas und zur Flammenstabilisierung ist ein Flammrohr vorgesehen. Stromauf sind am Flammrohr 20 Rezirkulationsöffnungen vorhanden. Am abströmungsseitigen Ende des Flammrohres ist eine Verengung des Rohrdurchmessers ausgebildet, die der Flamme Halt gibt.

Nachteilig an diesen und weiteren Brennern ist, dass zur Stabilisierung der Flamme ein Flammrohr notwendig ist. Flammrohre sind sehr belastete Teile, die durch den Gebrauch 25 der Feuerungsanlage abgenutzt werden.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, ein Verbrennungsverfahren und einen Brennerkopf für eine nahezu stöchiometrische Verbrennung erlaubenden Low-NOx-Brenner vorzuschlagen, welche gewährleisten, dass der Brennerkopf ohne 30 Flammrohr auskommt und dennoch eine gute Stabilität der Flamme erreicht ist, und dass der Brennerkopf praktisch unabhängig der Gegebenheiten eines Feuerraumes oder Kesselraumes einsetzbar ist und auf jeden gewünschten Leistungsumfang angepasst werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Verfahrensanspruchs 1 bzw. durch die Merkmale des unabhängigen Vorrichtungsanspruchs 7 erfüllt.

5 Bei dem Verfahren zum Verbrennen eines Brennstoffes werden Brennstoff und Zuluft einem Feuerraum zugeführt und im Feuerraum entflammt. Die Verbrennung geschieht in einer kühlen und daher blauen Flamme und mit niedrigen Schadstoffemissionswerten. Die Zuluft wird dabei in einer Mehrzahl von voneinander beabstandeten, divergierenden Zuluftstrahlen in den Verbrennungsraum geblasen. Im Feuerraum werden dadurch 10 einerseits zwischen jeweils zwei Zuluftstrahlen Unterdruckzonen und andererseits auch zentral zwischen den divergierenden Zuluftstrahlen eine zentrale Unterdruckzone geschaffen. Im Feuerraum vorliegende sauerstoffarme Abgase werden daher von Außen in die Unterdruckzonen zwischen die Zuluftstrahlen eingesogen und vermischen sich mit der Zuluft. Diese Zuführung von Rezirkulationsgasen von aussen zur Flamme wird im 15 Folgenden äussere Rezirkulation genannt. Zusätzlich zur äusseren Rezirkulation werden sauerstoffarme Abgase axial und entgegen der Strömungsrichtung der Zuluft bzw. des Zuluft-Abgas-Gemisches in die zentrale Unterdruckzone eingesogen. Diese axiale Zuführung wird im Folgenden innere Rezirkulation genannt.

20 Der Brennerkopf weist eine Stauscheibe auf, mit der ein Zuluftkanal eines Blaubrenners abströmseitig abgeschlossen werden kann. In der Stauscheibe sind wenigstens zwei Öffnungen einander gegenüberliegend, vorzugsweise je nach Brennerleistung drei, vier, fünf, sechs, sieben oder acht ringförmig angeordnet. Bei kleinen Leistungen können gegebenenfalls bis zu 12 Öffnungen vorgesehen sein. Diese sind mit Leitschaufeln zur 25 Leitung der durch die Öffnungen aus dem Zuluftkanal ausströmenden Luft in Form von divergierenden Zuluftstrahlen ausgerüstet. Zwischen den Leitschaufeln sind Stauschaufeln ausgebildet, um zwischen den Zuluftstrahlen Unterdruckzonen zu erreichen. Stromab der Stauscheibe ist ein Raum vorhanden, in welchem die Zuluftstrahlen ungehindert auseinanderströmen können. Die Leitschaufeln und 30 Stauschaufeln bilden vorzugsweise die letzten luftleitenden Teile vor der Flamme. Eine Flamme ist in der Folge ringsum von den im Feuerraum vorliegenden Abgasen umgeben. Gegebenenfalls kann ein kurzes Rohr zur Dosierung der entlang oder nahe der Stauscheibe rezirkulierenden Abgase vorgesehen sein.

Es ist mit diesem Verfahren und dieser Vorrichtung gelungen, die strömungstechnischen und physikalisch-chemischen Voraussetzungen für eine stabile, praktisch stöchiometrische Verbrennung von Heizöl im Wesentlichen unabhängig der

5 Feuerraumform und Feuerraumgrösse zu schaffen. Dabei geschieht die Verbrennung mit äusserst geringer Schadstoffbildung und es sind Brenner mit Leistungen für den Heizleistungsbedarf eines Einfamilienhauses bis hin zu einem solchen von Siedlungen oder Industrieanlagen machbar. Da der Brenner kein Flammrohr besitzt, ist er praktisch wartungsfrei. Die Flamme schwebt gewissermassen in einem Abstand zur Stauscheibe
10 und zur Düse im Feuerraum. Sie ist becherförmig und besitzt sehr weiche, ausgefranste Konturen mit unzähligen Spitzen, die bezüglich der Becherform nach aussen und innen gerichtet sind. Die Verbrennung ist sehr leise und neigt kaum zu Pulsationen. Die gemessenen Schallpegelwerte bei der Verbrennung von Heizöl sind die leisesten überhaupt, verglichen mit den Schallpegelwerten der gebräuchlichsten Gelb- und
15 Blaubrenner.

Eine Strömungssachse eines jeden Zuluftstrahls weist vorteilhaft einen minimalen Abstand zu einer den Zuluftstrahlen gemeinsamen Mittelachse aufweist. Der Abstand der Zuluftstrahlnachsen zur Mittelachse ist überall grösser als Null. Somit schneiden die
20 Strömungssachsen die Mittelachse nicht. Die Strömungssachse ist bezüglich der Mittelachse vorzugsweise geneigt. Dies bewirkt einen Dralleffekt auf die Gas-Strömung im Flammenbereich. Dieser Drall dient dem Halt und der Stabilität der Flamme.

Der Winkel zwischen einer Mittelachse und den divergierenden Zuluftstrahlen kann
25 durch die Winkellage der Leitschaufeln und durch die Winkellage der Stauschaufeln eingestellt werden. Abhängig von diesem Winkel der Zuluftstrahlen ist die Becherform der Flamme mehr oder weniger geöffnet. Bevorzugte halbe Scheitelwinkel eines in die Luftstrahlen eingeschriebenen und diese beim Eintritt in den Feuerraum tangierenden Kegels liegen zwischen 30 und 45 Grad. Die Flammenstabilität ist jedoch auch bei
30 Winkeln von 20 oder 60 Grad noch nicht gefährdet. Die Strömungssachsen der Zuluftstrahlen nehmen einen Winkel zu einer Mantellinie eines die Zuluftstrahlnachse berührenden Kegels oder Zylinders ein. Da die Achsen der Zuluftstrahlen sich nicht in einem gemeinsamen Punkt auf der Mittelachse schneiden, bewirken die Zuluftstrahlen

einen Drall um die Mittelachse. Die Zuluftstrahlenachsen liegen theoretisch in einer sich 5 trompetentrichterförmig aufweitenden Rotationsfläche um die Mittelachse. Tatsächlich bildet sich aber wegen des mit dem Abstand zur Stauscheibe zunehmenden Querschnitts der Becherform der Flamme in deren Zentrum eine Unterdruckzone. Diese bewirkt, dass die Zuluftstrahlen und die dazwischen hineingefächerten rezyklierten Abgase keine 10 Trompetentrichterform, sondern eine Tulpenform bilden. Die Zuluftstrahlen sind daher nicht geradlinig sondern rotieren um die Mittelachse, wobei sie bis zur Flammenspitze je nach Neigungswinkel der Zuluftstrahlenachse zur erwähnten Kegelmantellinie eine Rotation von 20 bis 120 Grad, vorzugsweise von etwa 90 Grad um die Mittelachse machen.

Die Zuluftstrahlen beginnen voneinander beabstandet und divergieren. Der minimale Abstand der Strahlenachsen von der Mittelachse kann stromauf, bei oder stromab der Stauscheibe liegen. Der Abstand zwischen den Zentren von zwei benachbarten 15 Zuluftstrahlen ist in der Ebene der Stauscheibe vorteilhaft etwa doppelt so gross wie der mittlere Durchmesser des Querschnitts der Zuluftstrahlen. Diese Verhältnisse sind durch die Grösse der Öffnungen in der Stauscheibe, die Grösse der Stauschaufeln, aber auch die Neigung der Leitschaufeln einstellbar.

20 Von erwähntem Verhältnis kann in begrenztem Mass abgewichen werden. Es kann der Abstand der Zentren dem sechsfachen Strahldurchmesser, oder aber dem 1,5-fachen Strahldurchmesser entsprechen. Das Verhältnis der Querschnittsflächen von Unterdruckzonen und Luftstrahlen kann variiert werden zwischen etwa 1 zu 2 bis 5 zu 1. Das Verhältnis der Querschnittsflächen von Unterdruckzonen und Luftstrahlen 25 unterschreitet bzw. übersteigt keinesfalls ein Verhältnis von 1 zu 3 bzw. 8 zu 1. Dabei bilden 70 bis 95%, vorzugsweise 80 bis 90% der Zuluft die Zuluftstrahlen. Die restliche Zuluft strömt gegebenenfalls zentral um einen Zentralkörper, z.B. die Brennstoffdüse, in den Feuerraum. Es kann auch bei grossen Leistungen eine Sekundärluft mit 10 bis 20% Volumenanteil der Zuluft durch einen Ringspalt in der oder um die Stauscheibe von 30 Aussen an die Flamme herangeführt werden. Keinesfalls jedoch sind die Zuluftstrahlen um einen zentralen Zuluftstrahl herum angeordnet.

Um die gewünschte äussere Rezirkulation zu erreichen, scheinen die Dimensionen der Unterdruckzonen bedeutsam zu sein. Bei geringerer äusserster Breite der Stauschaufeln ist ein grösseres Druckgefälle zwischen der Zuluft und dem Feuerraumdruck oder ein grösserer Querschnitt der Unterdruckzonen insgesamt notwendig, um dieselbe Menge an

5 Verbrennungsgas zu rezirkulieren. Eine bevorzugte äusserste Breite an der äusseren Basis von trapezförmigen Stauscheiben beträgt minimal 4 bis 7 und maximal 20 bis 22 mm, besonders bevorzugt 12 bis 18 mm. Einen bevorzugten kleinsten Abstand zwischen runden Öffnungen in einer Stauscheibe beträgt ebenfalls um 15 mm. Je nach Grösse des Durchmessers einer Stauscheibe oder je nach Abstand einander gegenüberliegender

10 Zuluftstrahlen ergibt sich deshalb eine andere Teilung bezüglich Öffnungen und Stauschaufeln. Dabei sind bei grösseren Durchmessern und höheren Drücken der Zuluft geringere Abstände zwischen den Zuluftstrahlen möglich.

Ein dynamischer Überdruck der Zuluft gegenüber dem Feuerraumdruck von wenigstens

15 4 bis maximal 30 mbar, je nach dem ob der Brenner 20 oder 400 kW leisten muss, erlaubt die erforderlichen Luftmengen und Fördergeschwindigkeiten zu erreichen, die eine Bildung der die Flamme stabilisierenden Unterdruckzonen gewährleisten. Bei noch höheren Leistungen sind auch höhere Überdrücke einzusetzen.

20 Das erfindungsgemäss Verbrennungsverfahren eignet sich sowohl für Öl oder Gas als auch für Zweistoffbrenner. Gas wird stromauf der Stauscheibe der Zuluft beigemischt. Flüssiger Brennstoff wird vorteilhaft mit einer Düse mit Vollkegelcharakteristik oder Kegelmantelcharakteristik axial eingedüst. Es ist auch eine Düse mit einer Mischung von Vollkegelcharakteristik und Kegelmantelcharakteristik einsetzbar, bei der im Innern des

25 Kegels der Brennstoff weniger dicht versprüht wird, am Rand jedoch dichter. Eine solche Charakteristik ist mit dem Begriff gemischte Charakteristik bezeichnet. Der Kegelscheitelwinkel der Düse misst mindestens 45, vorteilhaft 60 oder mehr und höchstens 90 Grad, vorzugsweise etwa 80 Grad.

30 Es ist sogar möglich, alternativ oder zusätzlich zum flüssigen und/oder gasförmigen Brennstoff feste Brennstoffpartikel (z.B. Kohlenstaub) der Zuluft beizumischen. Dadurch kann die Leistung des Brenners erhöht werden. Schlüsselkomponente des Verbrennungsverfahrens bildet der Brennerkopf mit integrierter Zuluftführung, wobei an

den Brennerkopf stromab kein die seitliche Ausbreitung der Zuluftstrahlen und die äussere Rezirkulation behinderndes Flammrohr anschliesst.

Die Mischtemperatur von Zuluft, Abgas und Brennstoffdampf muss, in einer ersten Phase
5 bis zur vollständigen Verdampfung des Brennstoffes unter der Zündtemperatur dieses
Gemisches bleiben - d.h. die Rezirkulationsmenge darf nicht zu gross sein. Eine zu kleine
Rezirkulationsmenge würde dagegen eine ungenügende Verdampfung und daher eine
suboptimale Verbrennung mit relativ hohen Schadstoffwerten bedeuten. Erst wenn die
drei Anteile ein homogenes Gasgemisch gebildet haben, soll mit einer zweiten
10 Rezirkulation möglichst heisser Gase die Zündung eingeleitet werden.

Mit der oben erwähnten ersten Rezirkulation nicht zu heisser Abgase wird die für die
Verdampfung erforderliche Wärmeenergie bereitgestellt. Die Zumischung dieses Abgases
reduziert den Sauerstoffgehalt des Gemisches und benötigt eine Strömungsstrecke,
15 welche einen Abstand zwischen der Flammenwurzel und der Stauscheibe schafft. Das
Mischungsverhältnis bestimmt die Vergasungs- und Verbrennungstemperatur. Der von
der Luftführung und der vom eingespritzten Brennstoff erzeugte Impuls erzeugt eine
Saugwirkung und führt zu einer ersten äusseren Rezirkulation von heissen
Verbrennungsgasen. Dieser Heissgasstrom wird zwischen die Zuluftstrahlen eingesogen.
20 Der erste Rezirkulations-Heissgasstrom bildet in der Folge mit der Zuluft zusammen eine
becherförmig sich ausweitende und um ihre Mittelachse drehende Ringströmung. Durch
die Ausweitung der laminar-turbulenten Scherströmung der zugeführten Zuluft in den
Feuerraum und die zwischen die Zuluftstrahlen gefächerten Heissgase entsteht in der
Mittelachse eine weitere Unterdruckzone, welche die innere Heissgasrezirkulation
25 bewirkt. Flüssiger Brennstoff wird in die Heissgase der inneren Rezirkulation und in die
becherförmige Strömung eingedüst. Die Heissgase der inneren Rezirkulation vermischen
sich nach und nach mit der becherförmigen Strömung. Die becherförmige Strömung
besteht aus einem zunehmend entflammabaren Gemisch kommt allseitig mit heissen
Verbrennungsgasen in Kontakt und vermischt sich mit diesen. Dank dieser Vermischung
30 erhöht sich die Temperatur des Gemisches über die Zündtemperatur. Die Flamme brennt
daher mit unzähligen Zungen nach allen Seiten, nach innen und aussen, im Gegenstrom
zu einer zweiten Heissgasrezirkulation. Die Verbrennung erfolgt mit blauer Low-NOx-

Hohlkegelflamme und NOx-Werten an der Grenze des theoretisch Machbaren und zudem mit niedrigem Schallpegel.

Ein weiterer Vorteil des Brenners und des Verfahrens ist die Verwendbarkeit von Brenner und Verfahren mit Naturgas als Brennstoff. Das Gas kann dabei im Bereich der 5 Stauscheibe, in den Zuluftkanal zwischen Ventilator und Stauscheibe oder auf der Ansaugseite des Ventilators der Zuluft beigemengt werden. Bei Gas als Brennstoff entfällt die Verdampfung des Brennstoffes. Die Vermischung von heissen Rezirkulationsgasen erhöht die Gemischtemperatur bei gleichzeitiger Sauerstoffkonzentrations-Verminderung.

10 Entscheidend ist hier das Erreichen eines vollständig homogenen Gemischs in der Mischzone, bevor die Verbrennung durch die zweite Heissgasrezirkulation in einem Abstand zur Stauscheibe zur Zündung gebracht wird.

Die Brenner für Öl und Gas können in einem Zweistoffbrenner kombiniert werden.

15 Zudem besteht die Möglichkeit für eine weitere Kombination eines Brennstoffes, zum Beispiel Kohlestab, bei Feuerungsanlagen mit grossen Leistungen.

Die stabilen internen Strömungsverhältnisse haben eine sehr ruhige, nicht-flackernde Flamme zur Folge, was die Lärmemissionen und die Anregung von 20 Kamindruckpulsationen entscheidend herabsetzt.

Ein Brennerkopf zum Anordnen am Ende eines Zuluftkanals eines Blaubrenners weist eine den Zuluftkanal abströmseitig abschliessenden Stauscheibe auf. In der Stauscheibe sind eine Mehrzahl von voneinander beabstandeten Öffnungen vorhanden, welche auf 25 einem Ring angeordnet sind. Diese dienen zur Aufteilung eines überwiegenden Teils, vorteilhaft über 70% der Zuluft in Zuluftstrahlen. An den Öffnungen sind Leitschaufeln vorgesehen. Diese dienen dem Leiten jedes durch eine Öffnung aus dem Zuluftkanal ausströmenden Zuluftstrahls. Sie leiten den Zuluftstrahl in eine Richtung, die bezüglich der Richtung der anderen Zuluftstrahlen divergiert. Zwischen den Leitschaufeln sind 30 Stauschaufeln ausgebildet. Mit den Stauschaufeln werden zwischen den Zuluftstrahlen Unterdruckzonen erreicht. Damit die Gasströmung, in welcher sich die Flamme entwickelt, sich ungestört entwickeln kann, sind die Leitschaufeln und die Stauschaufeln

in Strömungsrichtung vorteilhaft die letzten vor der Flamme angeordneten strömungsleitenden Teile.

Vorteilhaft sind die Stauschaufeln und die Leitschaufeln einstückig an der Stauscheibe 5 ausgebildet. Die Stauschaufeln sind mit Vorteil trapezförmig ausgebildet. Vorzugsweise sind die Leitschaufeln an eine Trapezseite der Stauschaufeln anschliessend ausgebildet. Dadurch können Stauschaufeln, Leitschaufeln und die gesamte Stauscheibe aus einem einzigen Stücke Blech geschnitten und geformt werden. Die Produktion der Stauscheibe ist daher sehr einfach. Die Leitschaufeln schliessen vorteilhaft entlang einer Kante, 10 insbesondere einer Biegekante, an die Stauschaufeln an. Die Leitschaufeln und die Stauschaufeln schliessen dabei an dieser Kante zweckmässigerweise einen Winkel zwischen 100 und 160 Grad, vorzugsweise zwischen 110 und 140 ein.

Die Öffnungen sind vorteilhaft um einen Zentralkörper herum ausgebildet. Der 15 Zentralkörper ist bei einem Ölbrenner oder einem Zweistoffbrenner die Öldüse. Bei einem Gasbrenner ist der Zentralkörper ohne weitere Funktion. Der Zentralkörper hilft, eine zentrale Unterdruckzone zu schaffen und führt die Luft bereits im Zuluftkanal. Die Leitschaufeln den begleiten Zentralkörper in Strömungsrichtung der Zuluft. Dabei schliesst der den Zentralkörper begleitenden Rand der jeweiligen Leitschaufel einen 20 Winkel zu einer Mantellinie des Zentralkörpers ein.

Vorteilhaft liegt die Leitschaufel jedoch nicht vollständig am Zentralkörper an, so dass um die Brennstoffdüse herum ein feiner Ringspalt vorliegt. Dieser erlaubt durch den 25 Ringspalt eine geringe Menge Zuluft dem Brennstoffstrahl zuzuführen, die für das Startverhalten des Brenners vorteilhaft ist.

Ein Blaubrenner mit einem Zuluft-Ventilator, einem daran anschliessenden Zuluftkanal, einer Brennstoffzuführung und einer elektrischen Zündung ist mit einem Brennerkopf ausgerüstet. Ein solcher Brenner weist die für den Brennerkopf spezifischen Vorteile auf. 30 Der Zuluftventilator ist der Brennerleistung entsprechend dimensioniert. Die Brennstoffzuführung kann durch eine Gaszuführung vor der Stauscheibe und/oder durch eine Öldüse im Zentrum der Stauscheibe gewährleistet sein.

Ein solcher Brenner ist zweckmässigerweise in einen Heizkessel eingebaut. Der Heizkessel besitzt einen Kesselraum, der vorteilhaft durch einen Wärmetauscher unterteilt ist in einen zentralen Feuerraum und einen den Feuerraum parallel zur Einströmungsrichtung der Zuluft ummantelnden Abgasraum. Vorteilhaft ist der Wärmetauscher ein Spaltwendewärmetauscher. Mit Spaltwendewärmetauschern wird eine hohe Ausbeute an Konvektionswärme erreicht. Ein solcher ist daher besonders geeignet für blass brennende Flammen, welche eine geringe Wärmestrahlung aufweisen.

Vorteile des Verfahrens und des Brennerkopfes sind insbesondere:

20 Im Folgenden wird die Erfindung an Ausführungsbeispielen anhand der Figuren genauer erläutert. Es zeigt:

25 Fig. 1 einen Längsschnitt durch einen Gelbbrenner gemäss dem Stand der Technik,
Fig. 2 eine Darstellung des Luftmusters bei einem derartigen Gelbbrenner,
Fig. 3 einen Längsschnitt durch einen erfindungsgemässen Brennerkopf in einem
Brennerrohr, ohne einen die erste Rezirkulation dosierenden Flammbecher,
Fig. 4 einen Längsschnitt durch einen erfindungsgemässen Brennerkopf in einem
Brennerrohr, mit einem die erste Rezirkulation dosierenden Flammbecher,
Fig. 5 eine perspektivische Ansicht einer Blende mit vier Öffnungen und einer
dazwischen platzierten Brennstoffdüse,
30 Fig. 6 eine perspektivische Ansicht einer Blende mit vier Öffnungen und einer
dazwischen platzierten Brennstoffdüse, und mit schematisch eingezeichneten
Zuluftstrahlen,

Fig. 7 einen Längsschnitt durch einen Brennerkopf in einem Brennerrohr, mit einer Blende mit fünf kreisrunden Öffnungen,

Fig. 8 eine Frontalansicht des Brennerkopfes gemäss Figur 7,

Fig. 9 eine Blende mit sechs trapezförmigen Öffnungen und sechs trapezförmigen Stauschaufeln dazwischen,

5 Fig. 10 einen Querschnitt durch die Blende gemäss Figur 9, bei der die Stauschaufeln in einer Ebene liegen,

Fig. 11 einen Querschnitt durch die Blende gemäss Figur 9, bei der die Stauschaufeln pyramidal aufgebogen sind,

10 Fig. 12 einen Längsschnitt durch einen Brennerkopf eines Gasbrenners mit schematischer Darstellung der Strömungen von Frischluft und heißen Abgasen,

Fig. 13 einen Längsschnitt durch einen Brennerkopf eines Ölackers mit schematischer Darstellung der Strömungen von Frischluft und heißen Abgasen,

15 Fig. 14 einen Längsschnitt durch einen Heizkessel und einen Brenner mit einem Brennerkopf gemäss Figur 13,

Fig. 15 einen Längsschnitt durch einen kurzen Heizkessel mit einem Wendelspaltwärmetauscher und einem Brenner mit einem an die räumlichen Gegebenheiten angepassten Brennerkopf.

20

Einander in der Funktion etwa entsprechende Teile sind in den Figuren mit denselben Bezugsziffern bezeichnet, selbst wenn deren Form unterschiedlich ist.

25 In Figuren 1 und 2 sind ein Längsschnitt durch einen Gelbbrenner 10 und eine Darstellung der Strömungen im Bereich der Flamme eines solchen Gelbbrenners 10 dargestellt. Die Stauscheibe 17 des Gelbbrenners 10 gemäss Figur 1 unterscheidet sich in der Form von der in Figur 2 dargestellten Stauscheibe 17. Dennoch ist das Strömungsbild bei einem in Fig. 1 dargestellten Brenner 10 sehr ähnlich dem in Figur 2 dargestellten Strömungsbild.

30

Bei dem Gelbbrenner 10 gemäss Figur 1 ist ein Brennerrohr 13 und eine das Brennerrohr 13 abströmseitig vor dem Feuerraum 15 abschliessende Stauscheibe 17 geschnitten

dargestellt. Im Brennerrohr 13 sind eine Öldüse 19 und zwei (dargestellt ist lediglich eine) Zündelektrode 21 angeordnet. Die Stauscheibe 17 besitzt eine zentrale Öffnung 20, um diese Öffnung herum ein Staurung 22 mit acht Leitschaufeln 23, und um den Staurung 22 herum eine Ringöffnung 26. Zwischen den Leitschaufeln 23 sind grosse Stauschaufeln 27 angeordnet, die zusammen mit einem äusseren Bereich des Staurings 22 eine ringförmige Unterdruckzone 28 schaffen (Figur 2). Im Zentrum der ringförmigen Unterdruckzone 28 strömt der Hauptanteil der Zuluft in einem scharfen Zuluftstrahl 30 in den Feuerraum 15 ein. Um die Unterdruckzone 28 herum fliesst ein Zuluftmantel 32 in den Feuerraum 15. Aufgrund der Druckunterschiede und Unterschiede in der Fliessgeschwindigkeit der Zuluft ergeben sich Rezirkulationsströmungen 34 am inneren Rand der Unterdruckzone 28. Durch die schmalen Schlitzöffnungen 36 zwischen den Leitschaufeln und den Stauschaufeln strömt eine geringe Zuluftmenge in die Unterdruckzone und bewirkt eine Rotation der Gase in der Unterdruckzone 28 um den zentralen Zuluftstrahl 30. In den Zuluftstrahl 30 wird der Brennstoff eingedüst und teilweise mit den Rezirkulationsströmungen 34 in der Unterdruckzone verwirbelt. In der Unterdruckzone verbrennt der Brennstoff unter Sauerstoffmangel. Diese Strömungs- und Druckverhältnisse halten die Flamme an der Stauscheibe. Es sind daher keine weiteren Massnahmen erforderlich, um eine stabile Flamme zu erhalten. Ein solcher Brenner brennt jedoch gelb und mit hohen Verbrennungstemperaturen und hohen Schadstoffemissionswerten.

Mit der Erfindung ist es nun gelungen, Druck- und Strömungsverhältnisse bei einem Blaubrenner 11 zu schaffen, welche eine stabile, leise und blau brennende Flamme im Feuerraum 15 schwebend festhalten.

In den Längsschnitten durch zwei Brennerrohre 13 gemäss den Figuren 3 und 4 sind keine Öldüsen 19 dargestellt. Die Lage der Öldüse 19 geht jedoch aus späteren Figuren hervor. Das Brennerrohr 13 gemäss Figur 3 und 4 bildet einen Zuluftkanal für Frischluft und allenfalls Naturgas. Auf der Achse 31, welche als Symmetriearchse oder Flammenachse bezeichnet werden kann, liegt die Öldüse mit der Düsenöffnung etwa in der Ebene der Stauscheibe 17.

Das Brennerrohr 13 ist abströmseitig mit einer Stauscheibe 17 abgeschlossen. Die Stauscheibe 17 ist zusammengesetzt aus einem Halterung 35 mit einer zentralen Öffnung und einem die zentrale Öffnung des Halteringes 35 abdeckende Blende 37. Der Halterung ist in Strömungsrichtung der Zuluft an einen Dichtring 39 am abströmseitigen Ende des Brennerrohres 13 angeschlagen. Am Halterung 35 sind zwei Zündelektroden 21 (in den Figuren 3 und 4 ist jeweils lediglich eine gezeichnet) und eine Halterung 41 für die Brennstoffdüse 19 (nicht dargestellt). Die Halterung 41 ist nicht geschnitten gezeichnet. Am Halterung 35 ist zudem ein Rohr 43 zur Flammenüberwachung angebracht.

10 Die Blende 37 ist in Strömungsrichtung an den Halterung angeschlagen und daran festgeschraubt. Die Blende 37 ist eine etwa kreisrunde Scheibe mit einer zentralen Öffnung für die Spitze der Brennstoffdüse 19 (vergleiche Figur 5). In einem Ring um die zentrale Öffnung herum ist das Blech, aus dem die Blende 37 gefertigt ist, mit einem Laser zugeschnitten. Dabei sind zwölf Lamellen ausgeschnitten, die zu Leitschaufeln 23 umgebogen werden können. In Figuren 3 und 4 sind jeweils die Hälften der Leitschaufeln 23 sichtbar. Diese Leitschaufeln 23 sind jeweils am Rand einer Öffnung 45 angeordnet. Die Öffnungen 45 bilden abwechselnd mit zwischen den Öffnungen 45 angeordneten Stauschaufeln 27 einen Ring um die Brennstoffdüse herum. Die Leitschaufeln 23 sind über etwa radial sich erstreckende Biegekanten 47 mit den Stauschaufeln 27 verbunden. Die Leitschaufeln 27 sind derart zugeschnitten, dass in umgebogenem Zustand der Leitschaufel eine innere Schaufelkante etwa parallel zu einer Außenform der Brennstoffdüse 19 verläuft. Die Neigung der Leitschaufeln zu den Stauschaufeln liegt in den in den Figuren 3 bis 6 dargestellten Beispielen bei etwa 45 Grad. Die Stauschaufeln 27 liegen in einer gemeinsamen Ebene.

25 In Figur 4 ist dieselbe Anordnung wie in Figur 3 dargestellt, jedoch mit einem Unterschied: In Figur 4 ist zusätzlich ein kurzes Flammrohr zur Dosierung der Menge an rezirkuliertem Heissgas vorhanden. Dieses Flammrohr 49 besitzt denselben Durchmesser wie das Brennerrohr 13. Es ist einstückig mit dem Brennerrohr 13 gefertigt. Zwischen dem Flammrohr 49 und dem Brennerrohr 13 ist ein Ringspalt 51 ausgebildet. Dieser Ringspalt dosiert die Rezirkulation der Abgase. Ein solches Flammrohr 49 kann bei dem erfundungsgemässen Brenner vorgesehen sein. Es ist jedoch nicht erforderlich. Durch die

Wahl und Einstellung der Blende 37 ist in praktisch jedem Feuerraum 15 und bei jeder Leistung eine Stabilisierung der blauen Flamme auch ohne Flammrohr 49 zu erreichen.

Die Blende 37 in Figur 5 besitzt um die zentrale Düsenöffnung herum vier Öffnungen 45. 5 zwischen diesen Öffnungen 45 sind vier Stauschaufeln 27 angeordnet. Die Stauschaufeln 27 sind trapezförmig. Die Trapezbasis liegt auf einem äusseren Kreisbogen. Die beiden konvergierenden Trapezseiten verlaufen etwa radial. Die Öffnungen besitzen praktisch den gleich grossen Querschnitt wie die Stauschaufel 27. Die Leitschaufeln 23 besitzen zwar eine grössere Fläche als die Stauschaufeln 27, jedoch ist die Öffnung 45 kleiner als 10 die Fläche der Leitschaufeln 23, da die Leitschaufeln 23 nicht senkrecht zur Blendenebene stehen. Die Biegekante 47 zwischen Stauschaufel 27 und Leitschaufel 23 bildet eine der konvergierenden Trapezseiten. Die andere Trapezseite der Stauschaufel 27 wird durch eine Schneidkante gebildet. Diese Schneidkante und die Biegekante 47 konvergieren bezüglich der Stauschaufel 27 mehr als bezüglich der Öffnung 45 zwischen zwei 15 Stauschaufeln 27.

In Figur 6 ist die in Figur 5 dargestellte Blende in einem flacheren Blickwinkel dargestellt und mit schematisch dargestellten Zuluftstrahlen versehen. Die Blende 37 besitzt vier Öffnungen 45, aus denen im Betrieb des Brenners Zuluft ausströmt. Die Zuluft wird 20 durch die Stauschaufeln 27 und die Leitschaufeln 23, sowie die Brennstoffdüse 19 (oder einen anderen Zentralkörper) in vier Zuluftstrahlen 53 aufgeteilt. Diese Zuluftstrahlen 53 sind als transparente Körper dargestellt. Sie treten in einem von 90 Grad abweichenden Winkel zur Ebene der Blende 37 und der Stauscheibe 17 durch die Öffnungen 45 in der Blende 37 hindurch. Die Zuluftstrahlen 53 reissen dabei hinter den Stauschaufeln 27 25 vorliegende Gase mit. Der dadurch entstehende Unterdruck saugt aus der Umgebung Gase an, so dass sich jeweils ein langsamerer Gasstrom bildet zwischen jeweils zwei Zuluftstrahlen 53. Diese Gasströme werden im Wesentlichen durch Heissgase gebildet, die Abgase der Verbrennung und daher sauerstoffarm sind. Zwischen den laminaren Strömungen von Zuluft und Heissgasen entstehen Mischzonen. In diesen Mischzonen 30 werden Zuluft und Abgase miteinander vermischt. Die in die Unterdruckzonen einströmende Zuluft aus den Zuluftstrahlen 53 verwirbeln mit den Heissgasen. Die Zuluftstrahlen 53 werden daher aufgebraucht. Daher sind sie als in Spitzen endende Arme dargestellt. Da die Zuluftstrahlen 53 divergieren, entsteht nicht nur jeweils eine

periphere Unterdruckzone 55 zwischen zwei Zuluftstrahlen, sondern auch eine zentrale Unterdruckzone 57 zwischen den Zuluftstrahlen 53 auf der Achse 31. Diese Unterdruckzonen 55,57 verhindern ein geradliniges Ausbreiten der Zuluftstrahlen 53. Die Unterdruckzonen halten diese Zuluftstrahlen 53 zusammen und bewirken daher, dass die 5 Flamme tulpenförmig brennt.

Der flüssige Brennstoff wird in die sich verwirbelnden Gasströme gesprührt. Dabei ist es unerheblich, dass die Öltröpfchen sowohl in die Heissgase als auch in die Zuluftströme gelangen. Die Vergasung und die Verdunstung (je nach Temperatur der Umgebungsgase) 10 erfolgt in beiden Fällen vor der Entflammung des Brennstoffs. Die Flamme brennt daher blau. Es wird vermutet, dass innerhalb der Zuluftstrahlen die Gastemperatur und in den Heissgasen die Sauerstoff- und die Brennstoff-Konzentration erst dann genügend hoch sind, wenn der Brennstoff bereits gasförmig vorliegt. Die Temperatur der Gase nimmt mit 15 Abstand von der Stauscheibe 17 dank dem Zuströmen von Heissgasen in einer sekundären Rezirkulation zu. Die sekundäre Rezirkulation geschieht von innen und von aussen zur Becherform der Flamme hin.

Dank den entstehenden Druckverhältnissen mit den zur Stauscheibe 17 zurückziehenden 20 peripheren Unterdruckzonen einerseits, die durch die ausgeblasene Zuluft aufgebaut werden, und durch die zentrale Unterdruckzone andererseits, die durch das Auseinanderströmen der Zuluftstrahlen und der mitgerissenen Heissgase erzeugt wird, 25 baut sich ein Gleichgewicht der Unterdruckzonen auf. In diesem Gleichgewicht erfolgt eine Verwirbelung, welche die Dynamik des starken thermodynamischen Prozesses dominiert und der Flamme Stabilität verleiht. Der thermodynamische Prozess läuft dabei nicht in erster Linie von hinten nach vorne in Ausströmungsrichtung ab, sondern vom Flammeninnern in Richtung Flammenspitze. Die Flammenspitze liegt aber nicht auf einer Flammenachse. Es liegen vielmehr unzählige Flammenspitzen auf der Innenseite und der Aussenseite der becherförmigen Flamme vor. Dadurch, so muss vermutet werden, hebt sich der Einfluss des thermodynamischen Prozess auf die Flammenstabilität teilweise auf, 30 so dass die Dynamik der Strömungen genügt, die Flamme sicher zu halten.

Es ist daher anzunehmen, dass die Form der Öffnungen eine untergeordnete Rolle spielt. So ist in Figuren 7 und 8 ein Brennerkopf dargestellt, bei welchem fünf Öffnungen 45 in

der Blende 37 jeweils kreisrund ausgestanzt sind. Die Stanzung umfasst eine Kreislinie von ca. 300 Grad. Über einen Winkel von 60 Grad liegt jeweils eine Biegekante 47 vor, entlang welcher die Leitschaufel 23 mit der Blende 37 verbunden ist. Die Richtung der durch diese Öffnungen 45 tretenden Zuluftstrahlen muss dank den Leitschaufeln 23 in einem Winkel zu den Öffnungsachsen (nicht dargestellt) der Öffnungen in der Blende 37 stehen. Die Zuluftstrahlen sind zudem tangential zu einem die Öffnungsachsen enthaltenden Kreiszylinder gerichtet, daher liegt die Stelle der Zuluftstrahlen mit dem geringsten Abstand zur Achse 31 in der Ebene der Blende 37.

5

10 In Figuren 9 bis 11 sind zwei Blenden 37 dargestellt, die sechs Öffnungen 45 aufweisen. Die Blenden sind in der Art der Blenden gemäss Figuren 3 bis 6 aus einem Blechstück gebildet. Die Leitschaufeln 23 sind über eine Biegekante 47 mit den Stauschaufeln 27 verbunden. Die sechs Stauschaufeln 27 sind in Figur 9 und 10 ebenflächig und in einer gemeinsamen Ebene angeordnet dargestellt. In Figur 11 jedoch sind die Stauschaufeln 27 15 in Strömungsrichtung der Zuluft aufgebogen, Dadurch neigen sich die sich ergebenden Zuluftstrahlen nach aussen. Die primäre Rezirkulation der Heissgase entlang der Stauscheibe 17 erfolgt durch die Abwinkelung der Stauschaufeln 27 mit weniger Wirbelbildung bis tiefer zwischen die Zuluftstrahlen hinein.

20 Die Leitschaufeln 23 sind gegen die Strömungsrichtung der Zuluft gebogen. Dadurch ergeben sich Abreisskanten für die Zuluftströmung, an denen ein Unterdruck entsteht. Zentral ist in der Blende 37 eine Düsenöffnung vorgesehen. Diese ist vorteilhaft so gross dimensioniert, dass rings um die Düse ein feiner Luftspalt vorliegt.

25 In den Figuren 12 und 13 ist das Strömungsbild und Flammenbild der Gasflamme und der Ölflamme schematisch dargestellt. Beide Strömungsbilder sind identisch. Lediglich die Brennstoffzuführung unterscheidet sich. In Figur 12 ist die Brennstoffzuführung durch eine Gasdüse 18 in der Ebene der Stauscheibe 17 gebildet. Die Gasaustrittöffnungen sind in einem Winkel von 45 Grad zur Achse 31 gerichtet. Das Gas tritt daher in die an der 30 Gasdüse 18 vorbeistreichende Zuluft hinein und gelangt mit den Zuluftstrahlen 53 in die Flamme. Gas kann jedoch auch stromauf der Stauscheibe der Zuluft zugeführt werden.

Im Gegensatz dazu wird Öl direkt in den Feuerraum 15 eingespritzt. Das Öl gelangt zuerst in den Bereich der zentralen Unterdruckzone 57. In den Heissgasen in der zentralen Unterdruckzone 57 verdunstet und verdampft ein Grossteil des Brennstoffs in sauerstoffarmer Umgebung. Jeweils ein untergeordneter Anteil des Brennstoffes gelangt 5 in Tröpfchenform in die Heissgase der peripheren Unterdruckzonen 55 und vermutlich auch in die Zuluft der Zuluftstrahlen 53. Trotzdem, wie vermutet werden muss, Öltröpfchen in die Zuluftstrahlen 53 gelangen, entsteht keine gelbe Flamme. Die Flamme brennt äusserst ruhig, blau und stabil. Es muss angenommen werden, dass die in die Zuluftstrahlen gelangenden Öltröpfchen bereits aufgeheizt sind, so dass sie sehr rasch 10 darin verdunsten, dass die Temperatur der Zuluft in diesem Bereich unter der Zündtemperatur liegt, und dass der Anteil des in die Zuluftstrahlen eindringenden, noch nicht vergasten Brennstoffes gering ist.

Wie aus den Darstellungen der Figuren 12 und 13 ersichtlich ist, gelangt die Zuluft 61 aus 15 dem Zuluftkanal oder Brennerrohr 13 durch die Öffnungen 45 in der Blende 37 in Form von Zuluftstrahlen 53 in den Feuerraum 15. Die Zuluftstrahlen 53 sind dank den Leitschaufeln 23 gerichtet. Die Stauschaufeln 27 zwischen den Öffnungen 45 schaffen periphere Unterdruckzonen 55 zwischen den Zuluftstrahlen 53, in welche hauptsächlich 20 von Aussen Heissgase rezirkulieren. Die Zuluftstrahlen 53 und diese primär rezirkulierten Heissgase 63 in den peripheren Unterdruckzonen 55 bilden eine laminar-turbulente Scherströmung, vermischen sich und bilden eine becherförmige, rotierende Mantelströmung 65 mit einer zentralen Gegenströmung 67 von sauerstoffarmen Heissgasen. Die Verwirbelung der becherförmigen Mantelströmung 65 mit den sekundär 25 rezirkulierten Heissgasen 67,69 aus der zentralen Unterdruckzone 57 und aus der Peripherie führt zu einer homogenen Vermischung von Heissgasen, Zuluft und Brennstoffgasen, die eine sehr harmonische Verbrennung erlauben.

Die in der Flamme auftretende Expansion der Gase kann sich zur Achse 31 hin und nach 30 Aussen ausdehnen. Die auf Grund der thermischen Entwicklung entstehende Dynamik entspannt sich daher vorwiegend ringförmig und radial nach Innen und Aussen. Die auftretenden Kräfte sind somit zu einem grossen Anteil einander entgegengerichtet. Dadurch bleibt die axial sich entspannende Dynamik zwischen den Zuluftstrahlen 53 und

den Unterdruckzonen 55,57 für den Flammenhalt dominant über die radial sich entwickelnden thermodynamischen Abläufe.

In Figur 14 ist der Brennerkopf gemäss Figur 13 in einem konventionellen Heizkessel eingesetzt. Der Brenner ist mit einem Ventilator, einer Ölzpumpe und einer Zündelektronik ausgerüstet. Die durch die eingeblasene Zuluft im Feuerraum 15 des Kessels erreichte Dynamik der Strömungen ist bereits oben beschrieben. Die Form und Grösse des Feuerraums 15 ist bei dieser Beschreibung nicht berücksichtigt. Dies kommt daher, das die Form und die Grösse des Feuerraums 15 lediglich eine Bedingung erfüllen muss: Der Feuerraum muss der Flamme Raum zur Entfaltung zu bieten. Bestimmt beeinflussen die Druckverhältnisse und andere Parameter des Feuerraums und des Heizkessels das Verhalten der Flamme und die Verbrennung. Es ist jedoch bisher kein Kessel gefunden worden, in welchem die stabile, schadstoffarme Verbrennung von Öl oder Gas mit dem beschriebenen Brennerkopf nicht gelungen wäre. Die Flamme brennt sogar im freien Raum und auch unter räumlich sehr engen Bedingungen.

Der Heizkessel gemäss Figur 14 ist für eine lanzenförmige Flamme ausgelegt und bietet daher zu viel Raum in Richtung der Achse 31. Die Verbrennung erfolgt jedoch davon unberührt sehr sauber, ruhig und stabil. Die Abgase werden gewendet und durch einen Wärmetauscher hindurch dem Kamin zugeführt.

In Figur 15 ist ein sehr kurzer Heizkessel dargestellt. Gegenüber des Brennerkopfes ist ein Flammenumlenkteil 71 angeordnet. Die kurzen Abmessungen des Feuerraums 15 wurden bisher dadurch erreicht, dass die Flamme mit dem Flammenumlenkteil 71 zu ihrer Wurzel zurückgelenkt wurde. Dieses Flammenumlenkteil 71 ist bei der gezeigten Zusammenstellung des Kessels jedoch nicht mehr notwendig. Es muss lediglich noch den Feuerraum 15 von einer Rauchgaskammer 73 hinter dem Flammenumlenkteil 71 abtrennen. Die mit dem erfindungsgemässen Verfahren gebildete Flamme brennt becherförmig radial und weist eine sehr kurze Längenentwicklung auf. Sie ist daher auch für sehr kurze Feuerräume 15 geeignet.

Bei dem in Figur 15 dargestellten Heizkessel, einem Wandgerät, ist eine Spaltwendel-Wärmetauscher 75 vorgesehen, der den Feuerraum 15 zylindrisch ummantelt. Zwischen dem Spaltwendel-Wärmetauscher 75 und der Kesselwandung ist ein zylindermantelförmiger Abgasraum 77 ausgebildet. Dieser Abgasraum ist durch die 5 ersten Windungen des Spaltwendel-Wärmetauschers von der Rauchgaskammer 73 getrennt. Die Rauchgaskammer 73 besitzt eine Öffnung in einen Kaminzug 79. Der Kaminzug 79 besitzt ein Kunststoffrohr mit integriertem Frischluftkanal 81.

Die Frischluft wird durch den Frischluftkanal 81 im Gegenstrom zum Rauchgas im 10 Kaminzug 79 angesogen. Mit dem Ventilator 83 wird die Zuluft durch ein sehr kurzes Brennerrohr 13 gegen die Stauscheibe 17 geführt. Mit der Blende 37 in der Stauscheibe werden Zuluftstrahlen 53 geformt, die in den Feuerraum 15 einblasen. Im Windschatten der Stauschaufeln 27 der Blende 37 bilden zwischen den Zuluftstrahlen 53 periphere 15 Unterdruckzonen und zentral eine zentrale Unterdruckzone 57. Das eingedüste Heizöl verdunstet/verdampft in sekundär rezirkulierten den Heissgasen der zentralen Unterdruckzone 57 und wird zusammen mit diesen Heissgasen in die tulpenförmige Mantelströmung 65 aus Zuluft und primär rezirkulierten Heissgasen eingemischt und verbrennt in einer blauen Flamme. Die entstehenden Heissgase rezirkulieren teilweise und entweichen zwischen den Spaltwendeln des Wärmetauschers 75 aus dem Feuerraum 20 15 in den Abgasraum 77. Dabei geben sie einen Grossteil ihrer Wärmeenergie durch Konvektion an den Wärmetauscher ab. Diese bereits gekühlten Abgase durchqueren den Spaltwendel-Wärmetauscher 75 ein zweites Mal und treten in die Rauchgaskammer 73 ein. Da die Zuleitung für das im Wärmetauscher fliessende Medium im Bereich der 25 Rauchgaskammer 73 und die Ableitung des Mediums im Bereich des Brennerkopfes vorgesehen ist, durchströmen die Abgase zuerst einen heisseren Bereich des Wärmetauschers und bei der zweiten Querung einen kühleren Bereich des Wärmetauschers. Anschliessend gelangen die kühlen Rauchgase in den Kaminzug und erwärmen vor ihrem Austritt in die Atmosphäre die angesogene Frischluft.

30 In der folgenden Tabelle sind Parameter von sieben Beispielen von Blenden von erfindungsgemässen Brennerköpfen aufgeführt. Die Blenden sind in der Art der Blende gemäss Figur 5 ausgebildet. Die Brennerköpfe sind auf Leistungen von 16 bis 700 kW

ausgelegt. Die Öffnungsringe der Blenden weisen einen äusseren Durchmesser von 27 bis 80 mm und daher einen Umfang von 84,8 bis 251,2 mm.

Bei Versuchen mit Brennern für grosse Leistungen hat sich gezeigt, dass eine kleinere Anzahl von Öffnungen und Stauschaufeln einer grösseren Anzahl vorzuziehen ist. Die Anzahl von vier Öffnungen und vier Stauschaufeln hat sich als für alle Leistungen geeignet erwiesen. Daher ist bei allen Beispielen eine Viererteilung verwendet worden. Die Masse der Stauschaufeln und der Öffnungen zwischen den Stauschaufeln sind wie folgt erfasst. Die Bezeichnungen sind in Figur 5 angegeben. Mit A ist die Länge der kleineren Trapezseite der Stauschaufel 27 bezeichnet, welche an die Brennstoffdüse anschliesst. Mit C ist die Basisbreite des Trapezes der Stauschaufeln bezeichnet. Mit H ist die grösste Weite zwischen zwei benachbarten Stauschaufeln 27 bezeichnet. Diesen Abstand weisen die Biegekante 47 und die dieser bezüglich der Öffnung gegenüberliegende Schneidekante an ihren Schnittpunkten mit dem Umfangkreis des Öffnungsringes auf. Mit H/C wird das Verhältnis der Masse H und C auf dem Umfangkreis angegeben. Dieses Verhältnis entspricht angenähert dem Verhältnis der Querschnittsflächen von Zuluftstrahlen und Unterdruckzonen. Diese Verhältnis verläuft etwa umgekehrt proportional zum dynamischen Druck P der Zuluft. Die Nennwerte der Ventilatoren sind in der Spalte P in Millibar angegeben. Das Produkt von P (mbar) und C/H liegt bei den Brennern trotz grossen Unterschieden von 1 zu 45 bezüglich der Leistung, von 1 zu 1 zu 5 bezüglich des Verhältnisses von C zu H und von 1 zu 4 bezüglich des dynamischen Drucks der Zuluft innerhalb von relativ engen Grenzen zwischen 7,3 und 11,7.

Leistung (kW)	Ø Blende	Teilung	A	C	H	Umfang	H/C	P (mbar)	$\frac{P \cdot C}{H}$
16	27	4	2	12	9	84.8	1:1.3	9	11.7
22	30	4	2	13	10.5	94.2	1:1.24	7.5	9.3
28	35	4	2	14	13.5	109.9	1:1.04	7.5	7.8
45	40	4	2	16	15.4	125.6	1:1.04	9	9.4
70	45	4	2	18	17.3	141.3	1:1.04	10.5	10.9
250	60	4	2	15	32.1	188.4	1:0.47	17	8
700	80	4	2	13	49.5	251.2	1:0.26	28	7.3

Zusammenfassend gesagt weist ein Brennerkopf in einer Blende 37 wenigstens zwei, vorzugsweise vier Öffnungen 45 mit Leitschaufeln 23 für die Zuführung von Zuluft in

07777-02

Richtung einer Achse 31 zu einem Feuerraum 15 in Form von Zuluftstrahlen 53 auf. Zwischen den Öffnungen 45 sind Stauschaufeln 27 zur Bildung von peripheren Unterdruckzonen 55 zwischen den Zuluftstrahlen 53 ausgebildet. Die Zuluftstrahlen 53 sind durch die Leitschaufeln 23 in eine bezüglich der Achse 31 geneigte Lage gelenkt.

5 Somit divergieren die Zuluftstrahlen 53 und bewirken dadurch eine zentrale Unterdruckzone 57 um die Achse 31 zwischen den Zuluftstrahlen 53. Im Betrieb des Brenners werden Heissgase von aussen in die peripheren Unterdruckzonen 55 und entgegen der Strömungsrichtung der Zuluft in die zentrale Unterdruckzone 57 zwischen die Zuluftstrahlen 53 eingesogen. Diese Strömungsverhältnisse schaffen ideale

10 Verhältnisse für die Verbrennung von gasförmigem, flüssigem und/oder partikelförmigem Brennstoff in einer ruhigen, kühlen und schadstoffarmen Flamme. Diese Verbrennung ist praktisch unabhängig von der Feuerraumgrösse und Feuerraumform, sowie von den Druckverhältnissen im Feuerraum für Feuerungsanlagen von 16 kW bis 1000 kW oder mehr Leistung erreichbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbrennen eines flüssigen, gasförmigen und/oder partikelförmigen Brennstoffes mit einer niedrigen Flammentemperatur und niedrigen Schadstoffemissionswerten,
 - bei welchem Verfahren Brennstoff und Zuluft einem Feuerraum (15) zugeführt und im Feuerraum (15) entflammt werden, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Zuluft in zwei oder mehr von voneinander beabstandeten und divergierenden Zuluftstrahlen (53) in den Feuerraum (15) geblasen wird,
 - durch das Einblasen der Zuluft zwischen jeweils zwei Zuluftstrahlen (53) periphere Unterdruckzonen (55) im Feuerraum (15) geschaffen werden
 - und im Feuerraum (15) vorliegende sauerstoffarme Abgase in Folge eines Unterdruckes in den peripheren Unterdruckzonen (55) von Aussen in die peripheren Unterdruckzonen (55) zwischen jeweils zwei Zuluftstrahlen (53) eingesogen werden,
 - und bei welchem Verfahren durch das divergierende Einblasen der Zuluftstrahlen (53) zentral zwischen den zwei oder mehr Zuluftstrahlen (53) eine zentrale Unterdruckzone (57) geschaffen wird
 - und im Feuerraum vorliegende sauerstoffarme Abgase axial und entgegen der Strömungsrichtung der Zuluft in die zentrale Unterdruckzone (57) eingesogen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Strömungsachse eines jeden Zuluftstrahls (53) bezüglich einer den Zuluftstrahlen (53) gemeinsamen Mittelachse (31) geneigt ist und einen minimalen Abstand zur Mittelachse (31) aufweist, der grösser als Null ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass flüssiger Brennstoff mit einer Düse (19) mit Vollkegelcharakteristik, gemischter Charakteristik oder Kegelmantelcharakteristik axial eingedüst wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Kegelscheitelwinkel der Düse (19) mindestens 45, vorteilhaft über 60 und höchstens 90 Grad misst, vorzugsweise 80 Grad misst.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass gasförmiger Brennstoff stromauf der Stauscheibe (17), vorteilhaft stromauf eines Ventilators für die Zuluft, der Zuluft beigemischt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuluft mit einem dynamischen Überdruck von 4 bis 50 Millibar, vorteilhaft zwischen 7 und 28 mbar ausgeblasen wird.
7. Brennerkopf zum Anordnen am Ende eines Zuluftkanals (13) eines Low-NOx-Brenners
 - mit einer den Zuluftkanal (13) abströmseitig abschliessenden Stauscheibe (17), gekennzeichnet durch
 - eine Mehrzahl von voneinander beabstandeten Öffnungen (45) in der Stauscheibe (17), zur Aufteilung eines überwiegenden Teils der Zuluft in Zuluftstrahlen (53), welche Öffnungen (45) auf einem Ring angeordnet sind,
 - Leitschaufeln (23) bei den Öffnungen (45) zum Leiten jedes durch eine Öffnung aus dem Zuluftkanal (13) ausströmenden Zuluftstrahls (53) in eine bezüglich der anderen Zuluftstrahlen (53) divergierende Richtung,
 - und Stauschaufeln (27), welche zwischen den Öffnungen (45) angeordnet sind, um zwischen den Zuluftstrahlen (53) periphere Unterdruckzonen (55) zu erreichen.
8. Brennerkopf nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Stauschaufeln (27) und die Leitschaufeln (23) einstückig an der Stauscheibe (17) ausgebildet sind.
9. Brennerkopf nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufeln (23) und die Stauschaufeln (27) aus einem flächigen Blechstück geformt sind.

10. Brennerkopf nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Stauschaufeln (27) trapezförmig ausgebildet sind und die Leitschaufeln (23) an eine Trapezseite anschliessend ausgebildet sind
11. Brennerkopf nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufeln (23) entlang einer Kante, insbesondere einer Biegekante (47), an die Stauschaufeln (27) anschliessen und Leitschaufeln (23) und Stauschaufeln (27) an dieser Kante (47) einen Winkel zwischen 95 und 160 Grad, vorzugsweise zwischen 110 und 140 Grad einschliessen.
12. Brennerkopf nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnungen (45) um einen Zentralkörper (19) herum ausgebildet sind.
13. Brennerkopf nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Zentralkörper eine Brennstoffdüse (19) für flüssigen Brennstoff ist, und diese Brennstoffdüse eine Vollkegelcharakteristik, eine gemischte Charakteristik oder eine Kegelmantelcharakteristik aufweist.
14. Brennerkopf nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitschaufeln (23) den Zentralkörper (19) in Strömungsrichtung der Zuluft begleiten.
15. Brennerkopf nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass um die Brennstoffdüse (19) herum ein feiner Ringspalt vorliegt, um durch den Ringspalt eine geringe Menge Zuluft dem Brennstoffstrahl zuzuführen.
16. Brennerkopf nach einem der Ansprüche 7 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass um den Ring der Öffnungen (45) herum mit einem Abstand von den Öffnungen (45) Sekundärluftöffnungen in der Stauscheibe (17) vorhanden sind.
17. Blaubrenner mit einem Zuluft-Ventilator, einem daran anschliessenden Zuluftkanal (13), einer Brennstoffzuführung, einer elektrischen Zündung (21) und einem Brennerkopf gemäss einem der Ansprüche 7 bis 16.

18. Blaubrenner gemäss Anspruch 17, gekennzeichnet durch eine Gaszuführung und eine Öldüse (19).
19. Heizkessel mit einem Kesselraum, einem Wärmetauscher (75) und einem Brenner gemäss Anspruch 17 oder 18.
20. Heizkessel nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Kesselraum durch einen Wärmetauscher (75) unterteilt ist in einen zentralen Feuerraum (15) und einen den Feuerraum parallel zur Einströmungsrichtung der Zuluft ummantelnden Abgasraum (77) .
21. Heizkessel nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmetauscher (75) ein Spaltwendewärmetauscher ist.
22. Blende (37) für einen Brennerkopf eines Low-NOx-Brenners und zum Einsetzen am Ende eines Brennerrohres (13), gekennzeichnet durch eine Mehrzahl von voneinander beabstandeten Öffnungen (45) zur Aufteilung eines überwiegenden Teils der Zuluft in Zuluftstrahlen (53), welche Öffnungen (45) auf einem Ring angeordnet sind,
 - Leitschaufeln (23) bei den Öffnungen (45) zum Leiten jedes durch eine Öffnung (45) aus dem Zuluftkanal (13) ausströmenden Zuluftstrahls (53) in eine bezüglich der anderen Zuluftstrahlen (53) divergierende Richtung,
 - und Stauschaufeln (27), welche zwischen den Öffnungen (45) angeordnet sind, um zwischen den Zuluftstrahlen (53) periphere Unterdruckzonen (55) zu erreichen.

Zusammenfassung

Ein Brennerkopf weist in einer Blende (37) wenigstens zwei, vorzugsweise vier Öffnungen (45) mit Leitschaufeln (23) für die Zuführung von Zuluft in Richtung einer Achse (31) zu einem Feuerraum (15) in Form von Zuluftstrahlen (53) auf. Zwischen den Öffnungen (45) sind Stauschaufeln (27) zur Bildung von peripheren Unterdruckzonen (55) zwischen den Zuluftstrahlen (53) ausgebildet. Die Zuluftstrahlen (53) sind durch die Leitschaufeln (23) in eine bezüglich der Achse (31) geneigte Lage gelenkt. Somit divergieren die Zuluftstrahlen (53) und bewirken dadurch eine zentrale Unterdruckzone (57) um die Achse (31) zwischen den Zuluftstrahlen (53). Im Betrieb des Brenners werden Heissgase von aussen in die peripheren Unterdruckzonen (55) und entgegen der Strömungsrichtung der Zuluft in die zentrale Unterdruckzone (57) zwischen die Zuluftstrahlen (53) eingesogen. Diese Strömungsverhältnisse schaffen ideale Verhältnisse für die Verbrennung von gasförmigem, flüssigem und/oder partikelförmigem Brennstoff in einer ruhigen, kühlen und schadstoffarmen Flamme. Diese Verbrennung ist praktisch unabhängig von der Feuerraumgrösse und Feuerraumform, sowie von den Druckverhältnissen im Feuerraum für Feuerungsanlagen von 16 kW bis 1000 kW oder mehr Leistung erreichbar.

1110

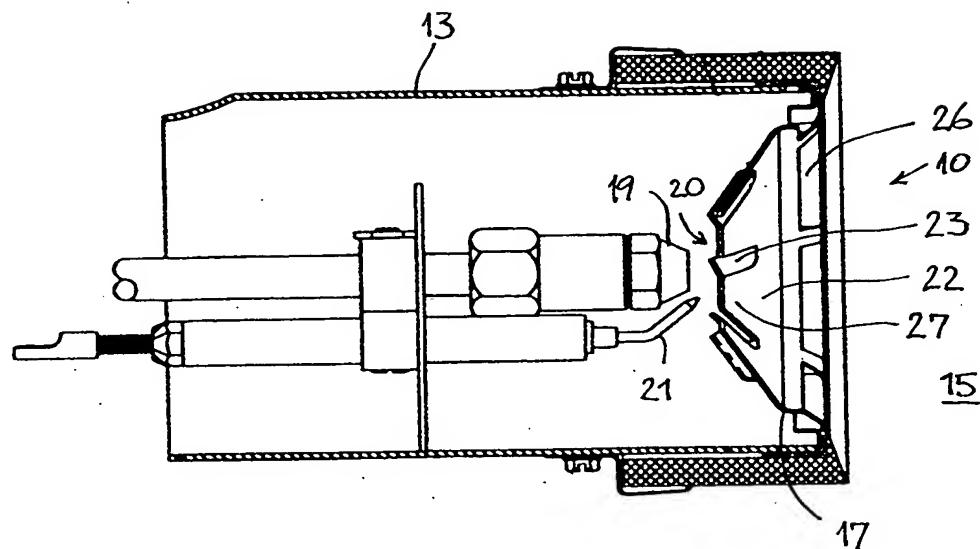
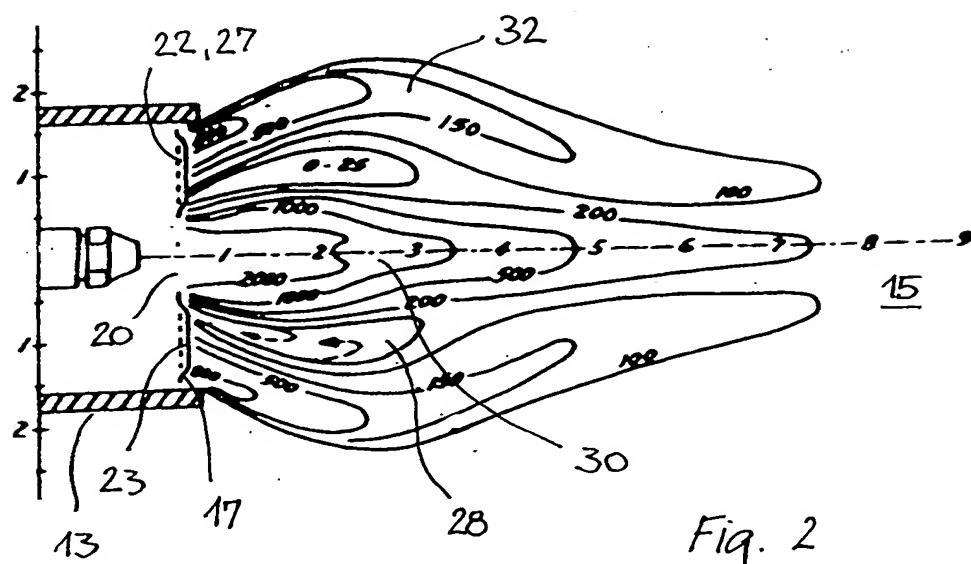


Fig. 1



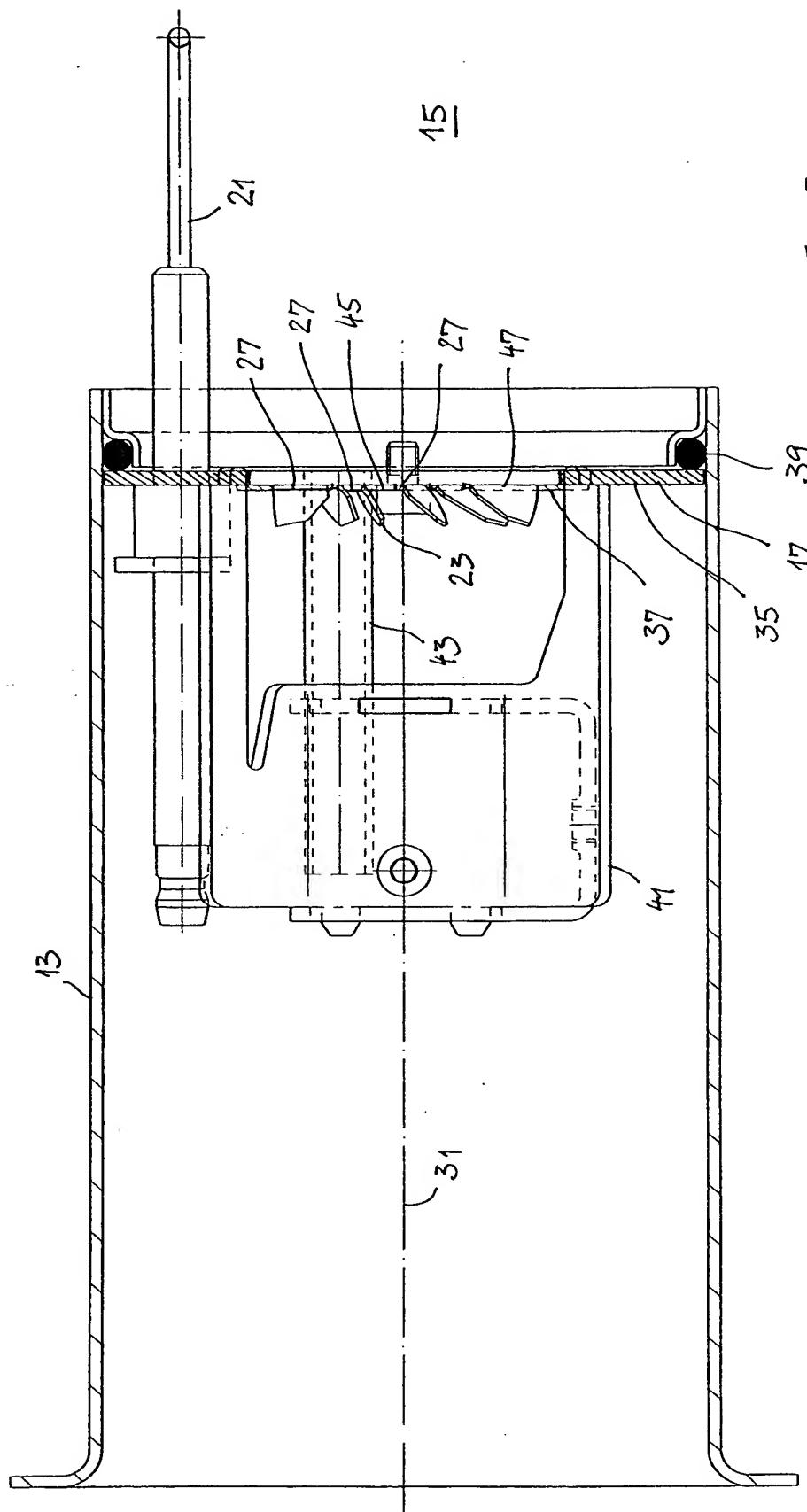


Fig. 3

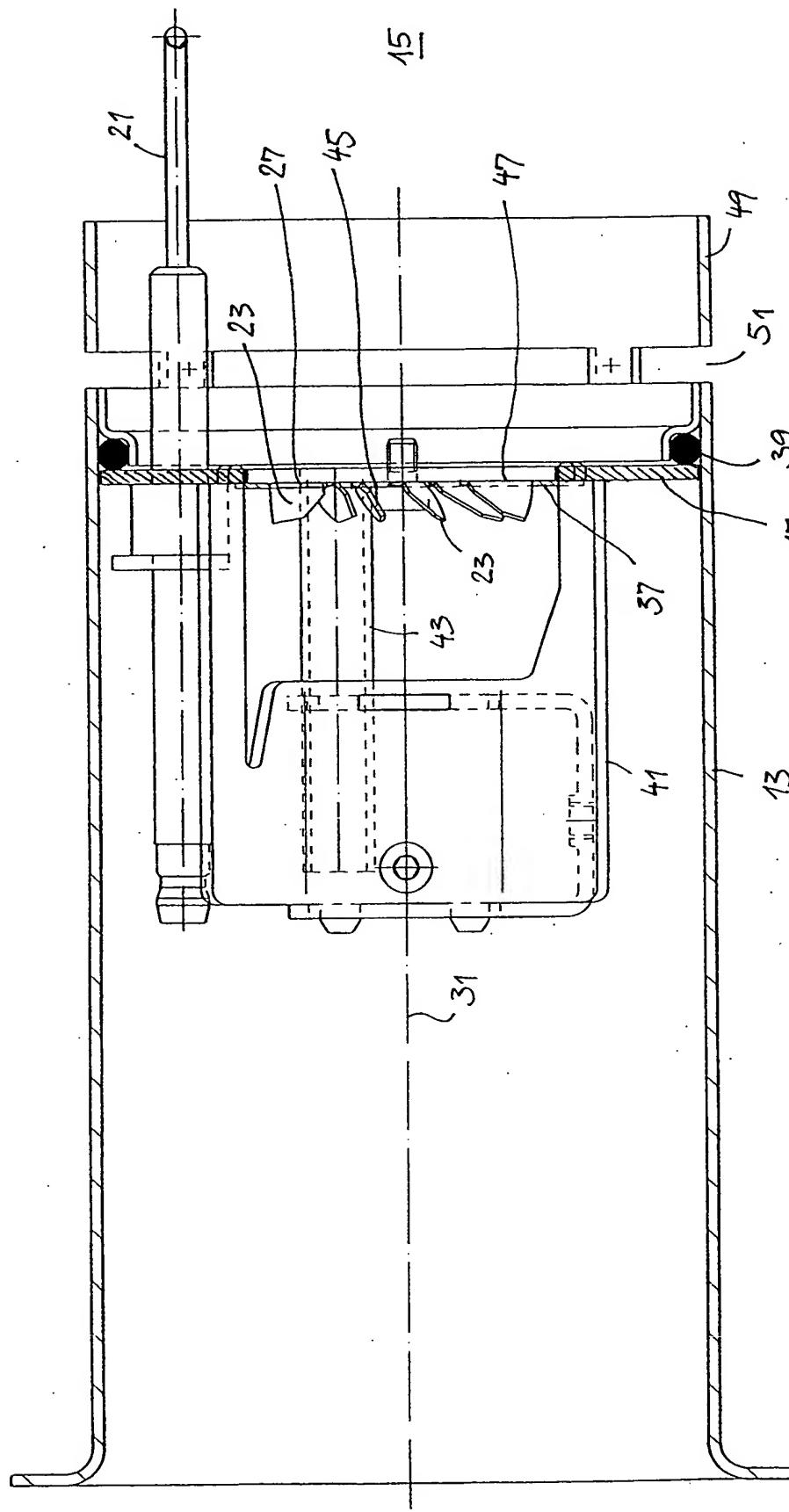
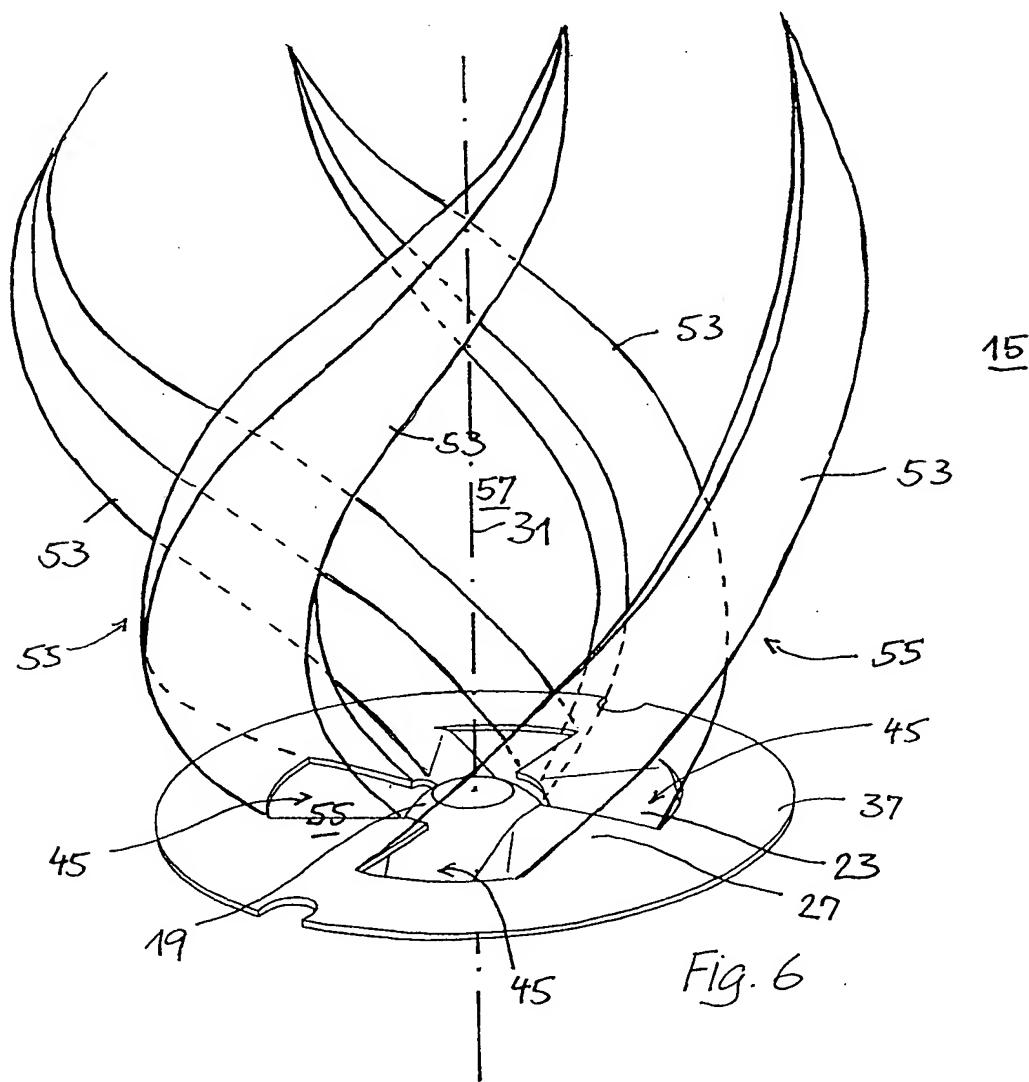
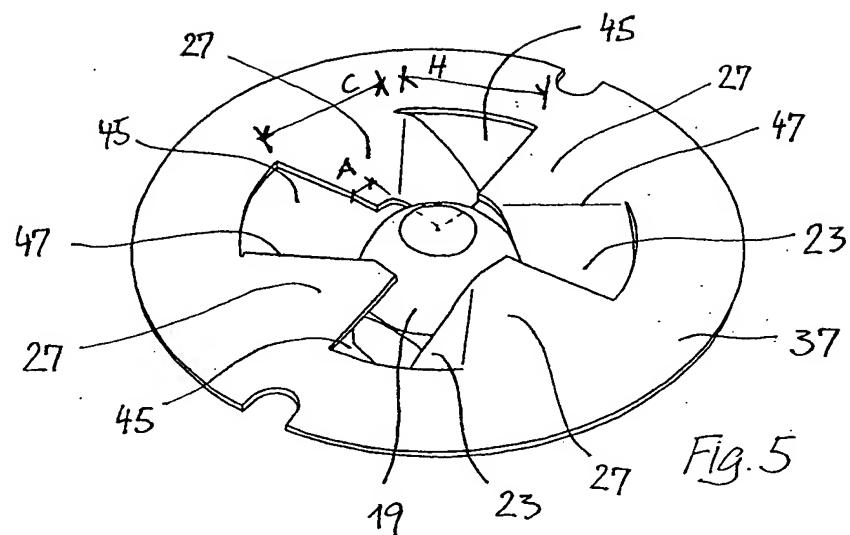


Fig. 4

Unveränderliches Exemplar Exemplaire invariable Esemplare immutabile

4/10

1772.03



Unveränderliches Exemplar
Exemplaire invariable
Esemplare immutabile

5/15

1777/02

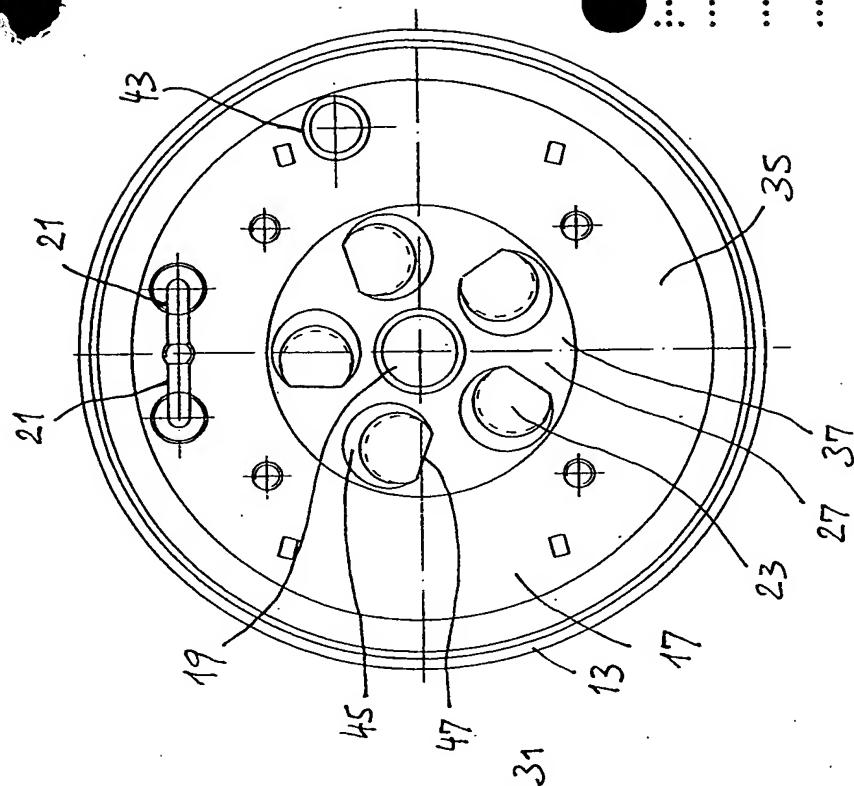


Fig. 8

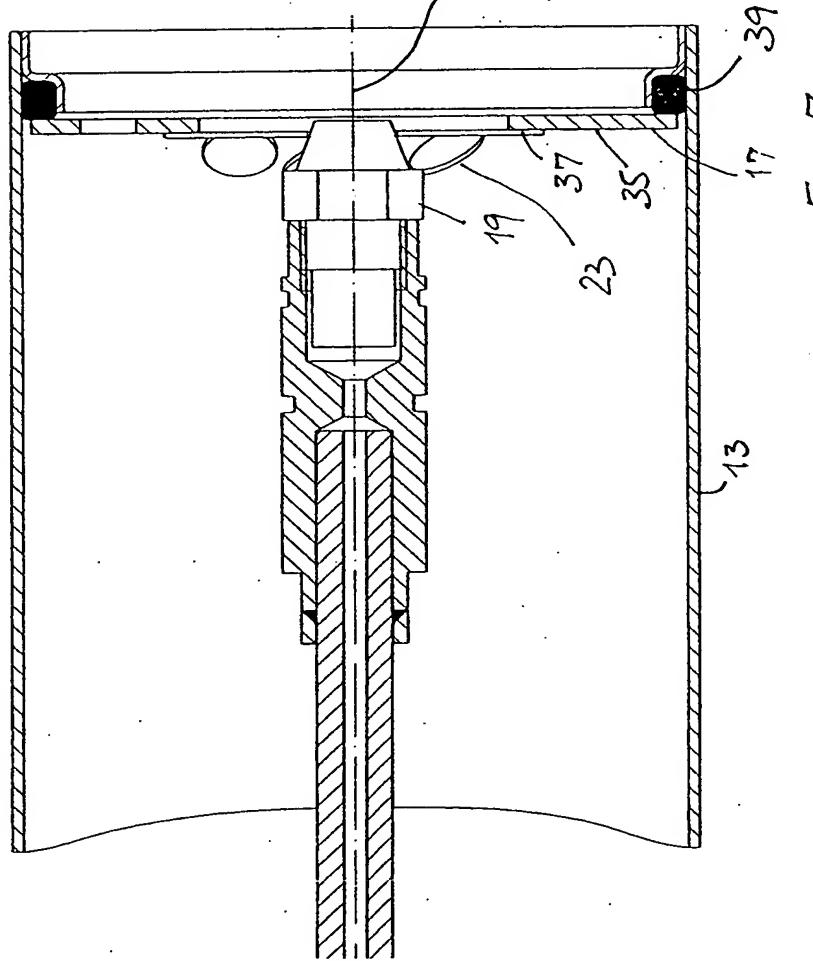


Fig. 7

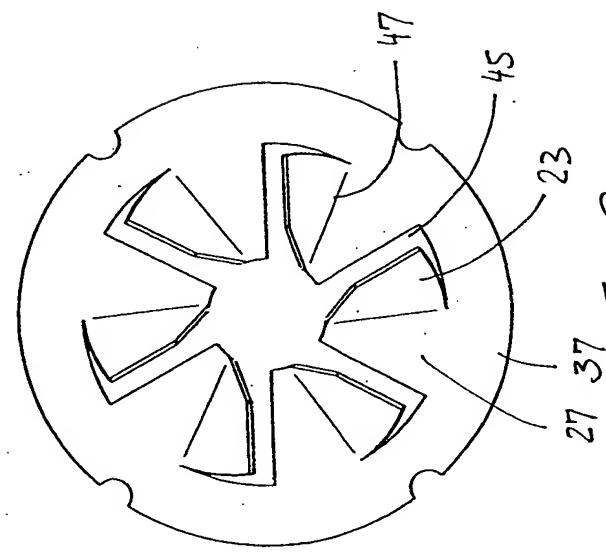


Fig. 9

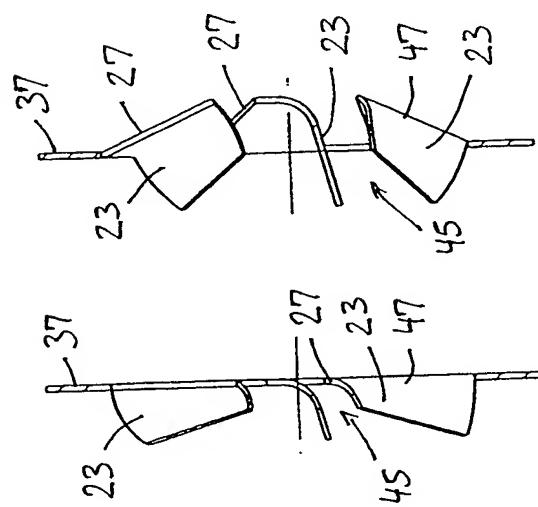


Fig. 10

Fig. 11

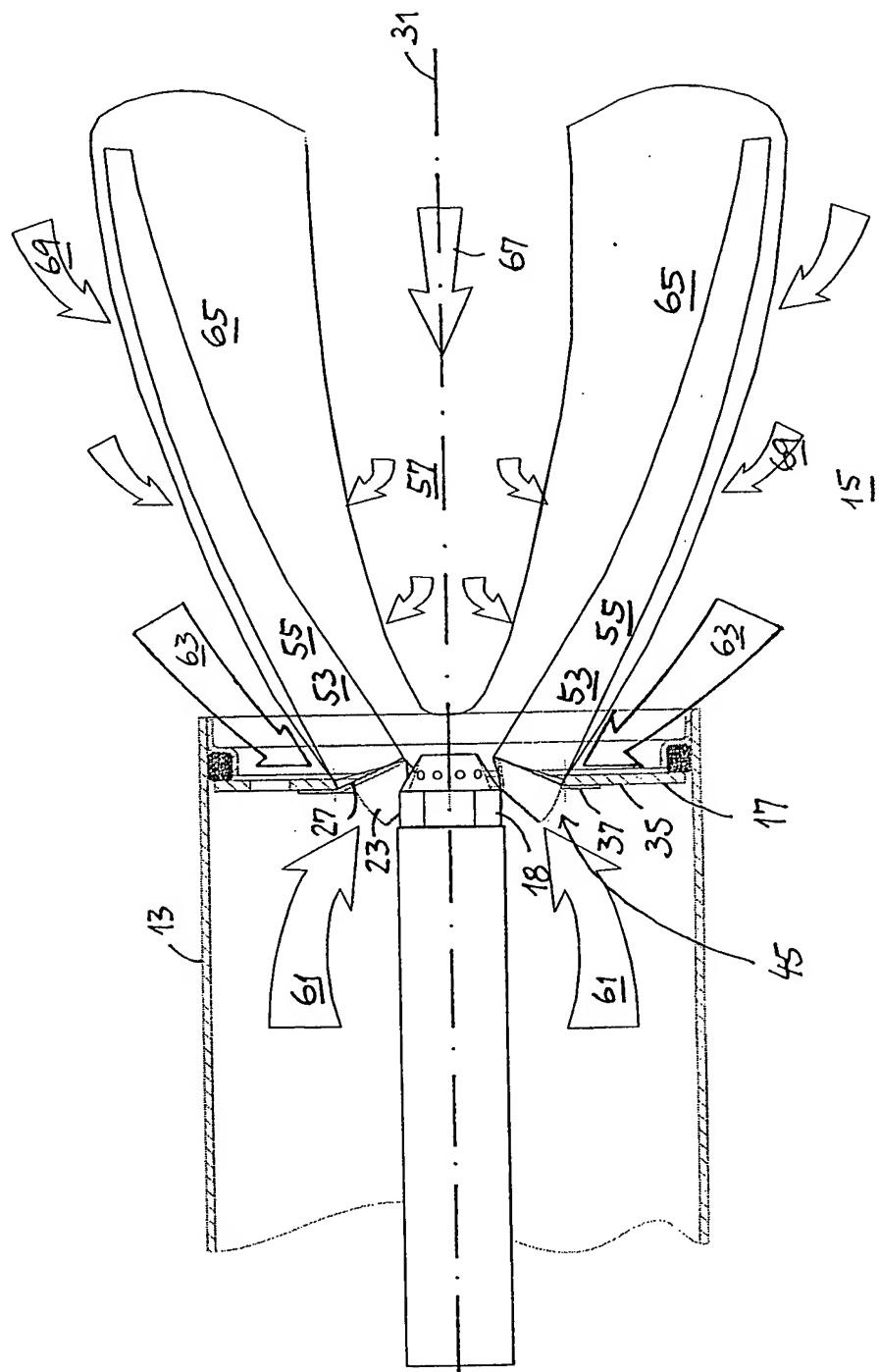


Fig. 12

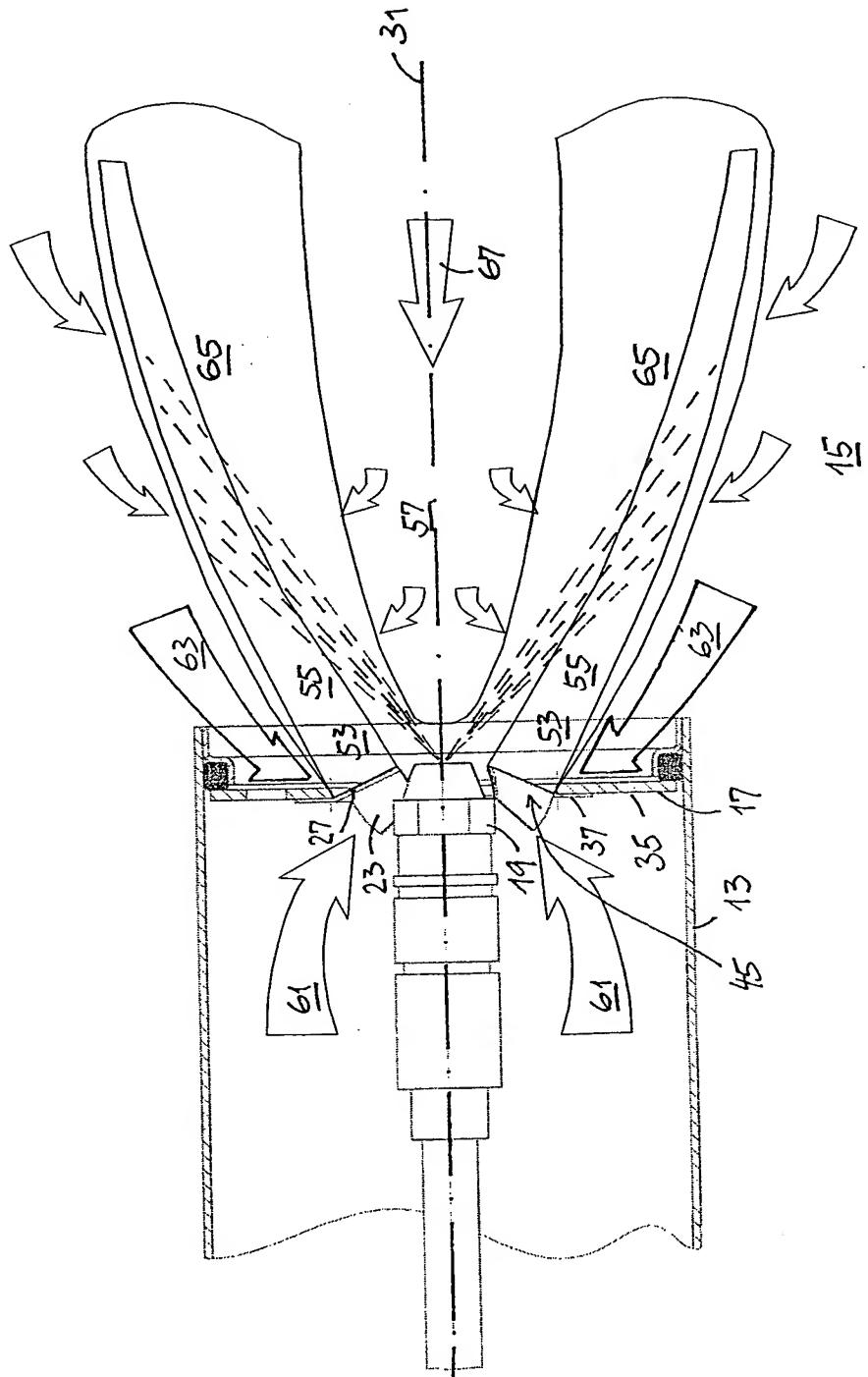
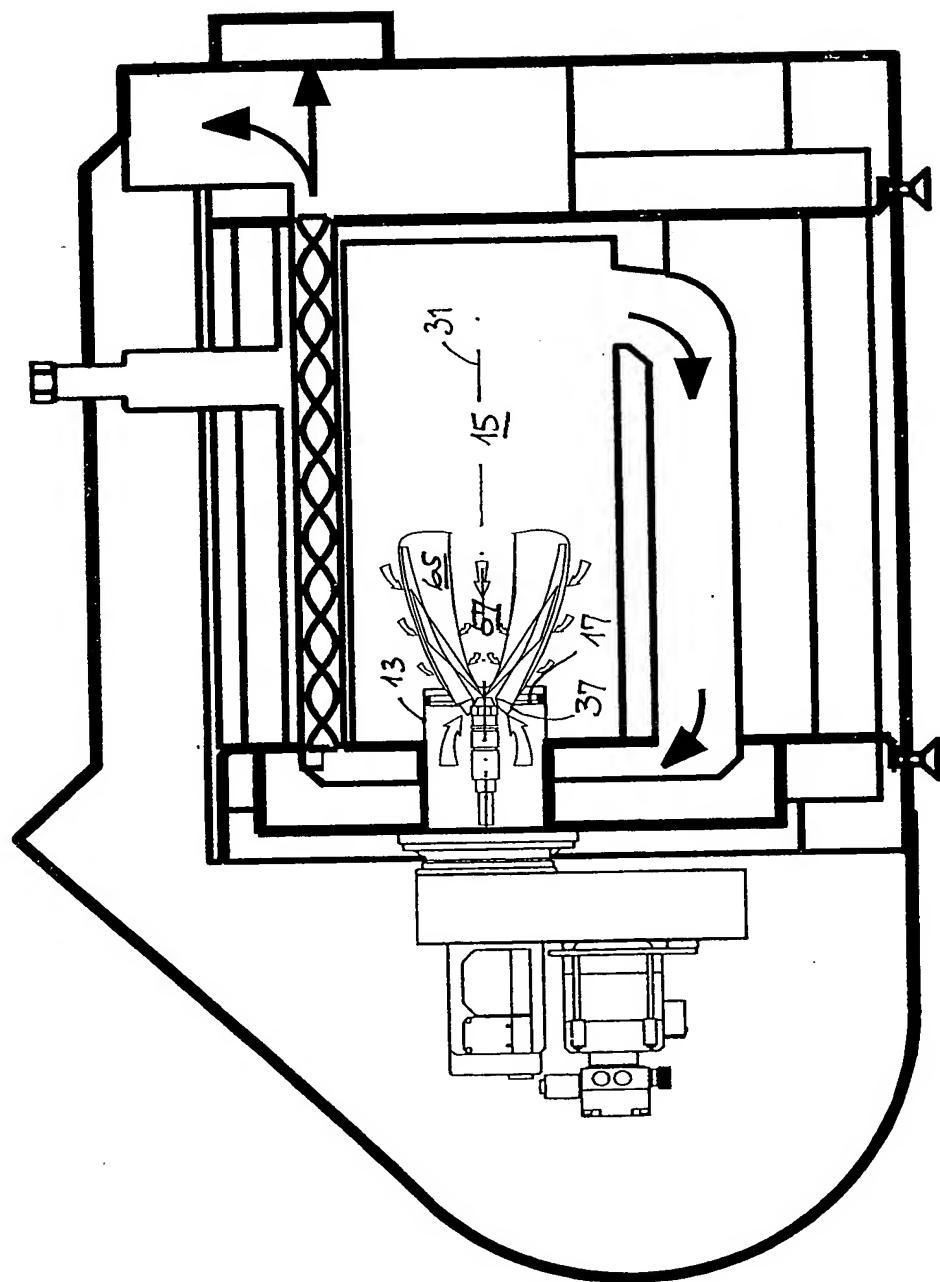


Fig. 13

Fig. 14



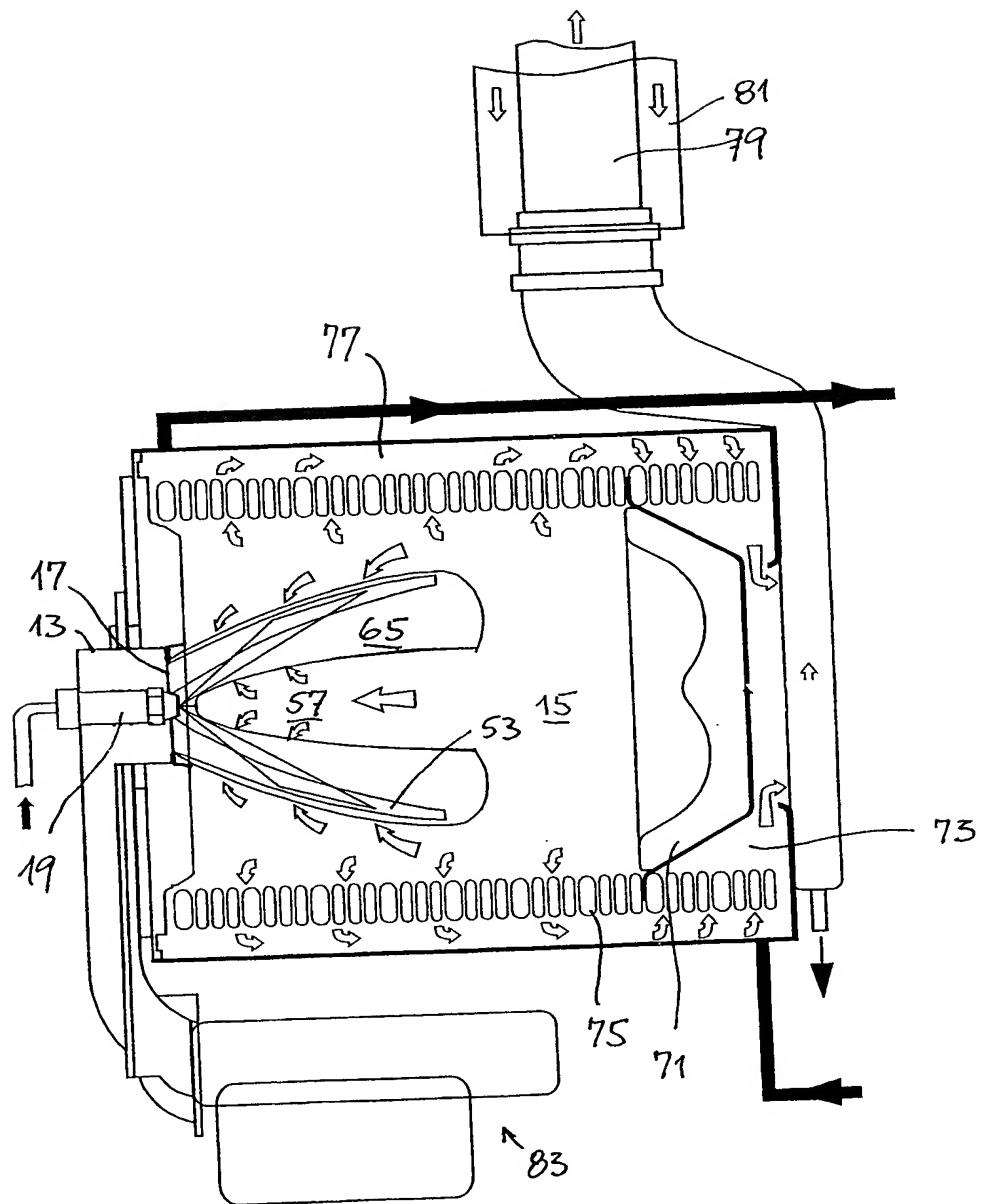


Fig. 15